

自覚的訴えを持たない VDT 作業者の調節・瞳孔特性と その加齢変化

中村 芳子, 近江源次郎, 木下 茂

大阪大学医学部眼科学教室

要 約

眼精疲労の訴えのない visual display terminal (VDT) 作業者81人 (31~55歳) を対象に, 電子瞳孔計付き赤外線オプトメーターを用いて, 調節安静位と近見反応における調節・瞳孔反応を連続測定し, 以下の6種類のパラメーターと年齢との関係を検討した。(1) 調節安静位 (近見反応前) の屈折値変動幅, (2) 調節安静位 (近見反応後) の屈折値変動幅, (3) 準他覚的調節幅, (4) 調節安静位の瞳孔面積, (5) 縮瞳率, (6) 瞳孔面積戻り率である。準他覚的調節幅, 近見反応前および後の調節安静位の屈折値変動幅, 安静位の瞳孔面積はいずれも年齢と相関 ($p < 0.001$) を示し, それぞれの相関係数は $-0.810, -0.591, -0.612, -0.320$ であった。年齢と瞳孔面積戻り率にも相関が見られた ($p = 0.018, r = 0.188$) が, 縮瞳率とは相関しなかった。以上の結果より, 準他覚的な調節機能全般は加齢と共に低下するが, 調節に付随する瞳孔反応の加齢変化は必ずしも明瞭でないと考えられた。(日眼会誌 95:1109-1116, 1991)

キーワード: 老化, 準他覚的調節幅, 屈折値変動幅, 瞳孔面積, 瞳孔反応

The Aging of Accommodative Function and its Pupillary Response in VDT Workers without Subjective Complaints

Yoshiko Nakamura, Genjiro Ohmi and Shigeru Kinoshita

Department of Ophthalmology, Osaka University Medical School

Abstract

Using a computer-assisted infrared optometer with a pupillometer, we measured the accommodative function and its pupillary response in 81 female subjects (age: 31-55yrs) without visual complaints who worked via visual-display-terminal (VDT). From these measurements we analyzed the following 6 parameters regarding accommodation, and investigated whether a correlation exists between age and each parameter. The six parameters were, (1) the amplitude of objective accommodation, (2) the refractive fluctuation at the resting state of accommodation, (3) the refractive fluctuation after receiving myopic stimuli, (4) the pupil area prior to myopic stimuli, (5) the maximum rate of constriction by accommodation, and (6) the rate of pupil area recovery after accommodation. Among these parameters, the amplitude of objective accommodation, the refractive fluctuation at the resting state of accommodation, the refractive fluctuation after receiving myopic stimuli, and the pupil area prior to myopic stimuli were significantly correlated with age (all parameters: $p < 0.001$).

別刷請求先: 553 大阪市福島区福島 1-1-50 大阪大学医学部眼科学教室 木下 茂
(平成3年3月1日受付, 平成3年4月30日改訂受理)

Reprint requests to: Shigeru Kinoshita, M.D. Department of Ophthalmology, Osaka University Medical School.

1-1-50 Fukushima, Fukushima-ku, Osaka 553, Japan

(Received March 1, 1991 and accepted in revised form April 30, 1991)

The correlation coefficients (r) were -0.810 , -0.591 , -0.612 and -0.320 respectively. There was also some relationship between age and the rate of pupil area recovery after accommodation ($r=0.188$, $p=0.018$), but no statistically significant correlation between age and the rate of constriction by accommodation ($r=0.100$). These findings suggest that the overall functional capability of accommodation decreases constantly with age, though the pupillary reaction induced by accommodation is not correlated well with age. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 95: 1109—1116, 1991)

Key words: Aging, Amplitude of objective accommodation, Refractive fluctuation, Pupil area, Pupillary response

I 緒 言

調節機能の諸特性を準他覚的に測定することは、調節系異常を臨床的にとらえるために重要であるが、装置が特殊である、非常に手間がかかる等の理由で研究的にしか行われていなかった^{1)~3)}。しかし、鶴飼らが開発した赤外線オプトメーター方式の改造型オートレフラクトメーター⁴⁾を用いて、比較的短時間に調節機能を準他覚的にとらえることができるようになり、これを利用して調節系に関する種々の新しい知見が得られるようになった^{4)~17)}。また赤外線電子瞳孔計を接続し、調節・瞳孔反応を同時に測定することも可能となった¹⁴⁾¹⁸⁾。この調節機能測定法を用いて、現在までに、調節痙攣や衰弱⁷⁾、弱視⁴⁾⁶⁾、Adie 症候群や有機リン中毒⁵⁾、visual display terminal (VDT) 作業による眼精疲労⁸⁾⁹⁾¹²⁾、頭頸部損傷¹¹⁾¹⁶⁾、円錐角膜¹⁷⁾等についての臨床報告が行われている。しかし正常者を対象とした報告は比較的少なく、蒲山ら¹⁰⁾の正常者の加齢変化について、土屋ら¹⁴⁾の瞳孔反応同時測定について、近江ら¹⁵⁾の調節の準静的特性における性差についてが見られるのみである。特に、加齢変化に関しては準他覚的調節幅と Ar/As 比について報告¹⁰⁾されているが、調節安静位における屈折値変動幅や瞳孔反応との関係についての報告は未だなされていない。

今回、我々は一般企業の VDT 検診時に、赤外線オプトメーターによる調節・瞳孔機能検査を施行する機会を得、正常に近い中高年の女性対象者の検査結果について各測定項目と年齢との関係を検討したので報告する。

II 対象および方法

1. 対象

N 社の VDT 定期健康診断受診者 1,150 人のうち、視力検査から精密検査が必要と診断されたもの 34 人、問

診票より精密検査が必要と判断されたもの 71 人の計 105 人を第一次対象者とした。このうち眼精疲労の訴えない 81 人を最終の対象者として、赤外線オプトメーターによる調節・瞳孔機能検査を施行した。これら対象者は 31 歳から 55 歳までの女性で全員が同一の VDT 作業に従事しており、拘束 8 時間、実働 6.5 時間、60 分の作業毎に 15 分以上の休憩時間が必ず与えられていた。検査は勤務時間内に施行したが、検査前 1 時間は VDT 作業を中止し、視覚負荷を与えなかった。

なお、対象者 81 人のうち、2 人は片眼強度近視のためその結果は除外し、他の 2 人はデータファイルミスにより片眼の測定結果が消失したため、検討可能な眼数は 158 眼であった。

2. 方法

測定には、赤外線オプトメーターに簡易型赤外線電子瞳孔計とパーソナルコンピューターを接続した調節・瞳孔解析装置 (AR3-SV14, ニデック社製) を使用した。本装置は鶴飼らにより開発された調節の準静的記録装置⁴⁾に瞳孔解析装置を付加したもので¹⁸⁾、調節と瞳孔の刺激視標に対する反応をリアルタイムに同一画面上に記録することができる。オートレフラクトメーターは、Badal 光学系による視標と、Cornsweet 型のサーボ制御赤外線オプトメーターおよびアライメント用の赤外線 TV モニターを内蔵している。オートレフラクトメーター中の内部視標の動きはパーソナルコンピューターにより制御され、眼屈折(水平方向)の変化は赤外線オプトメーターにより、瞳孔面積は赤外線電子瞳孔計により測定され、モニター上にリアルタイムで表示される。内部視標の移動方法には等速度制御(準静的特性を見る)と STEP 制御(動的特性を見る)の 2 種類が選択可能であるが、今回は等速度制御のみを用いて測定を行った。なお、この検査法では、被検者が視標を見る努力をするという条件付ではあるが、近見反応による最大調節反応量を屈折値の変化と

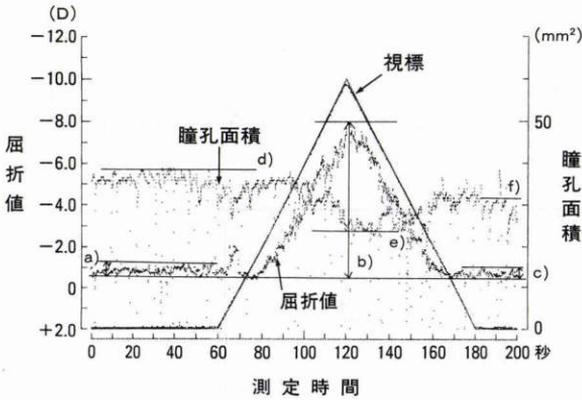


図1 赤外線オプトメーターによる調節・瞳孔機能検査を施行した代表例。(34歳女性)

a) 近見反応負荷前の調節安静位(T1)における屈折値変動幅, b) 準他覚的調節幅, c) 近見反応負荷後の調節安静位(T3)における屈折値変動幅, d) 調節安静位(T1)の瞳孔面積, e) 最小瞳孔面積, f) 調節安静位(T3)の瞳孔面積

定開始から60秒間)と近見反応負荷後(測定終了前の20秒間)は視標を基準位置に保ち, 調節安静位とその屈折値変動幅を測定した. 測定開始60秒後からは, 視標位置を1秒あたり0.2Dで近方へ移動させ調節緊張を, その後また1秒あたり0.2Dで基準位置まで移動させ調節弛緩を検討した. 視標移動幅は自覚的調節幅より十分に大きい値(30歳代は12D, 40~45歳は8D, 46歳以上は6D)に設定した. 図1に示すように, この測定から, (a) 近見反応負荷前の調節安静位(以後, 調節安静位(T1)と呼ぶ)における屈折値変動幅, (b) 準他覚的調節幅, (c) 近見反応負荷後の調節安静位(以後, 調節安静位(T3)と呼ぶ)における屈折値変動幅, (d) 調節安静位(T1)の瞳孔面積, (e) 最小瞳孔面積, (f) 調節安静位(T3)の瞳孔面積の値を求め, 以下の調節・瞳孔機能に関する6種類のパラメーターを算出した. 今回検討したパラメーターは, (1) 調節安静位(T1)における屈折値変動幅(a), (2) 調節安静位(T3)における屈折値変動幅(e), (3) 準他覚的調節幅(b), (4) 調節安静位(T1)の瞳孔面積(d), (5) 縮瞳率(最小瞳孔面積/調節安静位(T1)の瞳孔面積)(e/d), (6) 瞳孔面積戻り率(調節安静位(T3)の瞳孔面積/調節安静位(T1)の瞳孔面積)(f/d)である. 次に年齢とこれら6種類のパラメーターとの相関係数および一次回帰式を求めた. 準他覚的調節幅については指数関数の

いう他覚的データとして捉えられるので, 準他覚的調節幅と表現する.

視標の基準位置としては被検者眼の屈折値(180度方向のオートレフラクトメーター値)に+2ジオプリー(D)を加算した値を使用し, 近見反応負荷前(測

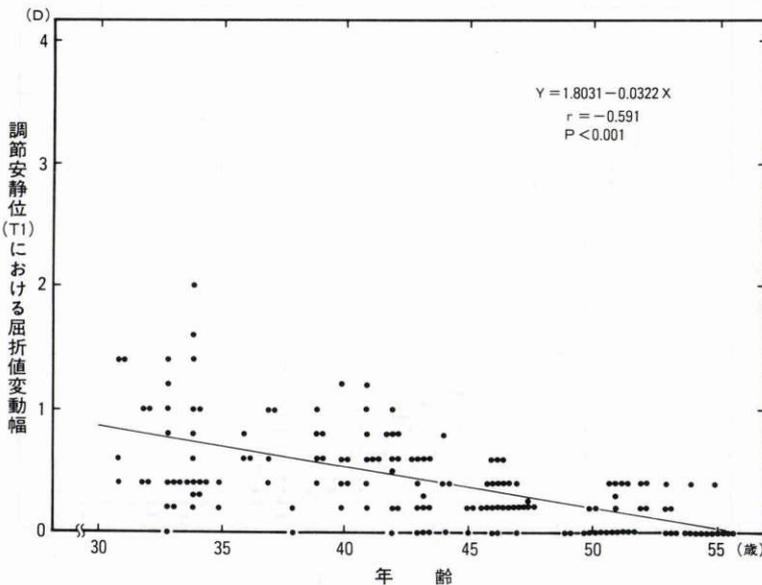


図2 年齢と調節安静位(T1)における屈折値変動幅の関係. 横軸は年数, 縦軸は diopter を示す. 各点は個々の値, 実線は一次回帰式を示す.

回帰モデル式も求めた。

III 結 果

調節安静位 (T1) および調節安静位 (T3) における

年齢と屈折値変動幅との相関係数は -0.591 および -0.612 (いずれも $p < 0.001$)となり、両者とも有意の相関を示した。一次回帰式は、年齢を X 、調節安静位(T1)の屈折値変動幅を Y とすると $Y = 1.8031 - 0.0322X$

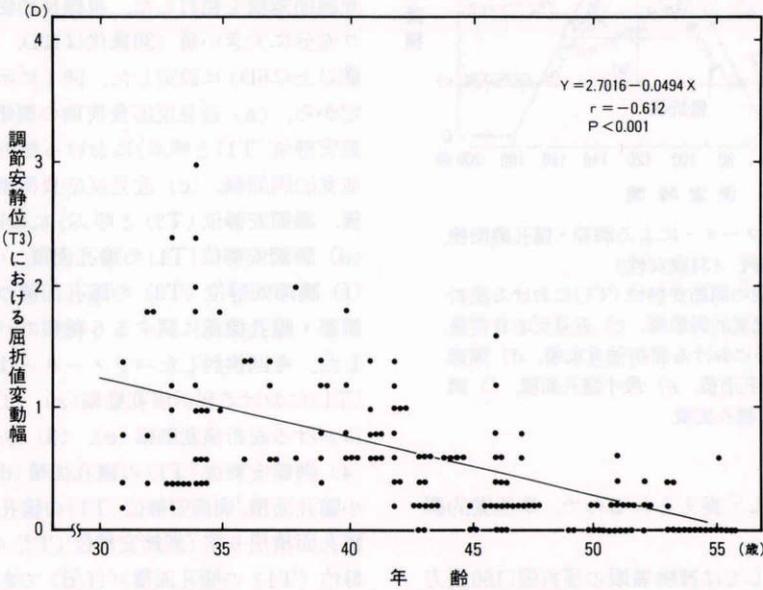


図3 年齢と調節安静位 (T3) における屈折値変動幅の関係。横軸は年数、縦軸は diopter を示す。各点は個々の値、実線は一次回帰式を示す。

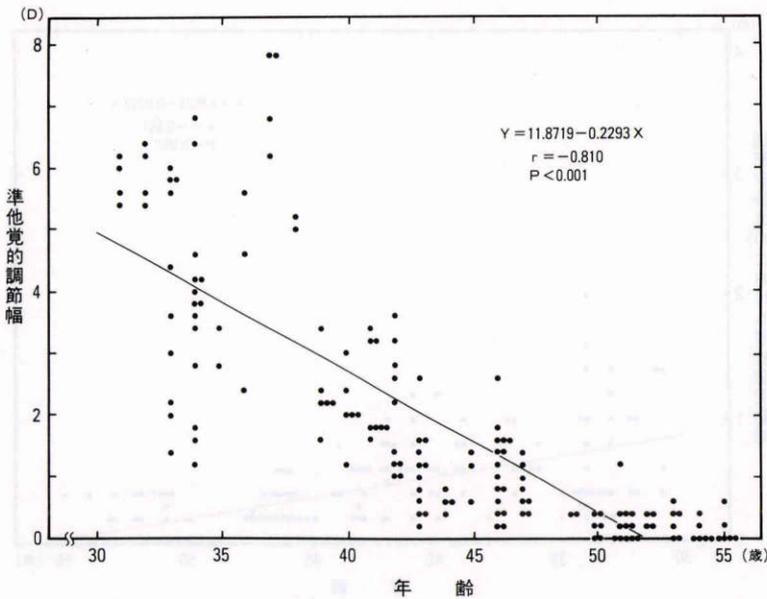


図4 年齢と準他覚的調節幅の関係。横軸は年数、縦軸は diopter を示す。各点は個々の値、実線は一次回帰式を示す。

(図 2), 調節安静位 (T3) の屈折値変動幅を Y とすると $Y = 2.7016 - 0.0494X$ となった(図 3), 年齢と準他覚的調節幅との相関係数は -0.810 ($p < 0.001$) で, 今回測定したパラメーターの中では最も強い相関を認めた. 年齢を X, 準他覚的調節幅を Y とした時の一次回帰式は $Y = 11.8719 - 0.2293X$ となった(図 4), 回帰モデル式として指数関数を設定した場合, 回帰式は $Y = 3763.91e^{-0.1935X}$ となり, あてはまりは $p < 0.001$ で統計学的に有意と認められた(図 5). なお, 一次回帰式の決定係数は 0.6563 , 指数回帰式の決定係数は 0.6802 であり, 指数回帰式の値が優っていた.

年齢と調節安静位 (T1) の瞳孔面積との相関係数は -0.320 ($p < 0.001$) で, 有意の相関が認められた. 年齢を X, 調節安静位 (T1) の瞳孔面積を Y としたときの一次回帰式は $Y = 44.0245 - 0.4024X$ であった(図 6). 年齢と縮瞳率との相関係数は 0.100 で相関が見られなかった(図 7). 年齢と瞳孔面積戻り率との相関係数は 0.188 ($p = 0.018$) で, 有意傾向の相関が認められた. 年齢を X, 瞳孔面積戻り率を Y とした時の一次回帰式は $Y = 73.2047 + 0.3880X$ となった(図 8).

IV 考 按

オートフラクトメーターに簡易型赤外線電子瞳孔計とパーソナルコンピューターを接続した調節・瞳孔解析装置の開発により, 近見反応の三要素(調節, 瞳孔, 輻輳反応)のうち, 調節反応と瞳孔反応の二者を同時に測定することが可能となった. また, 調節障害に関しては, 準他覚的調節幅同様, 調節反応前後の調節安静位における屈折値, およびその変動幅が重要な意味を持つことを我々は報告してきた¹³⁾. 今回の対象においては, 調節安静位における屈折値は全例ほぼ安定していたため, それ以外の三つの因子について年齢との関係を検討した.

準他覚的調節幅に関する今回の測定結果は, 検査環境による制限から 31 歳以上の女性に制限されたが, 蒲

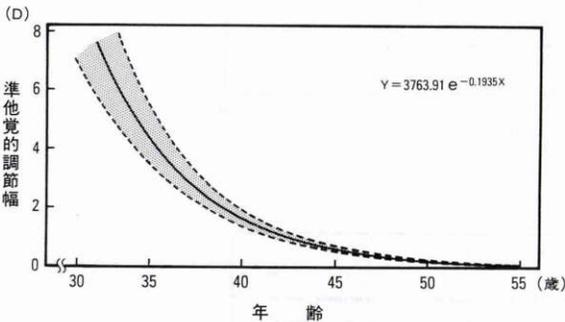


図 5 年齢と準他覚的調節幅の関係(指数関数を回帰モデル式とした場合). 実線は回帰曲線を, 点線はその 95%信頼限界を示す. 点状部位は信頼域を示す.

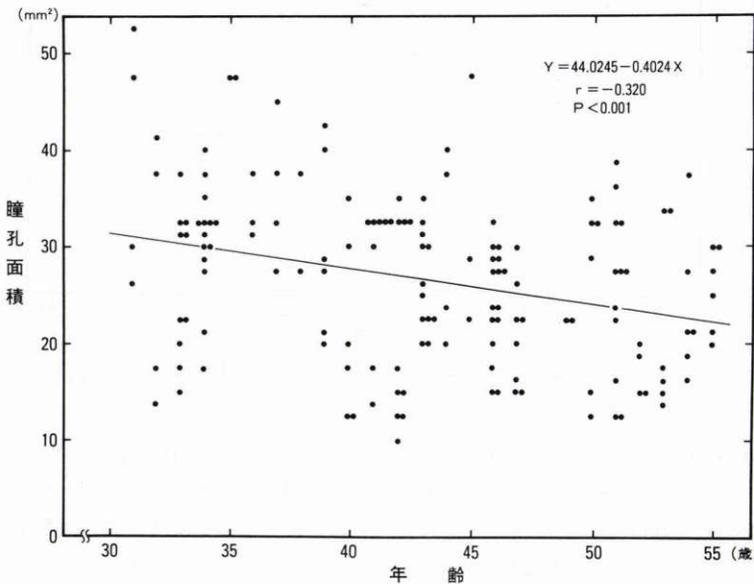


図 6 年齢と調節安静位 (T1) における瞳孔面積の関係. 横軸は年数, 縦軸は瞳孔面積 (mm²) を示す. 各点は個々の値, 実線は一次回帰式を示す.

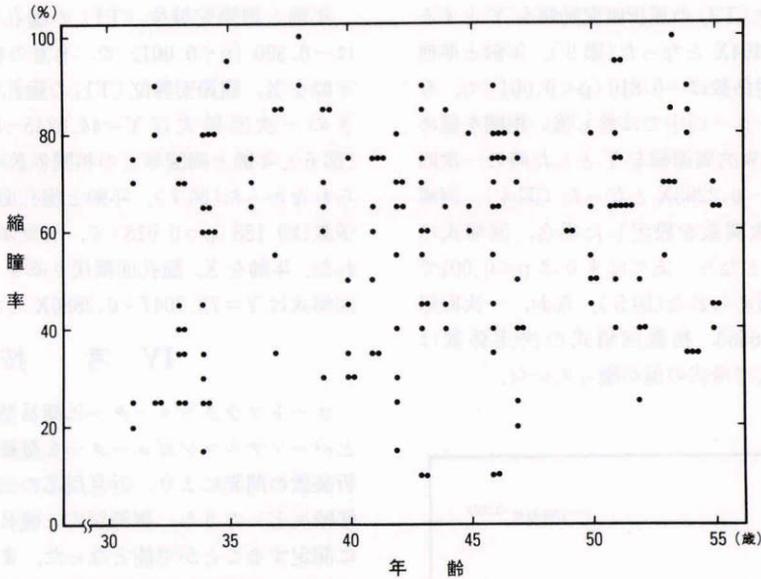


図7 年齢と縮瞳率の関係。各点は個々の値を示す。

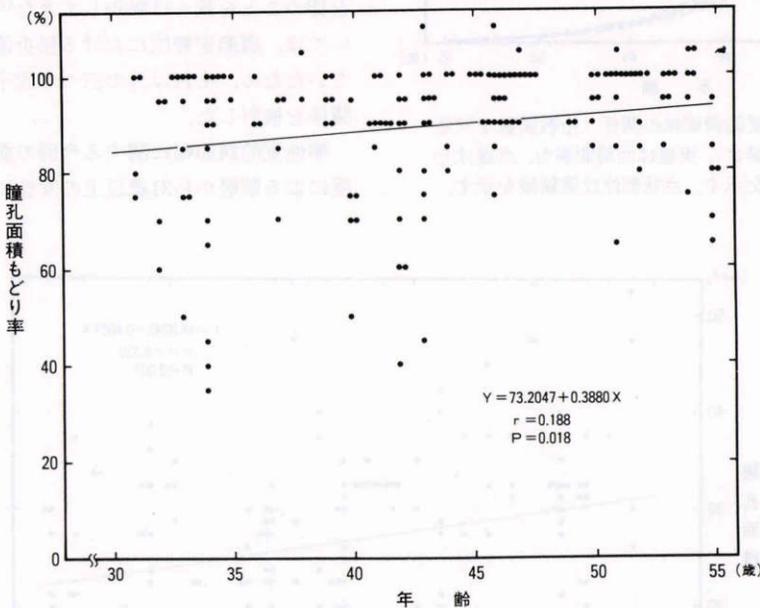


図8 年齢と瞳孔面積戻り率の関係。各点は個々の値、実線は一次回帰式を示す。

山ら¹⁰⁾の正常者の測定結果と大差なく、対象者がVDT作業者であることの影響は極めて少ないと判断された。石原、DondersやDuane諸氏の調節力曲線で周知のように¹⁹⁾、自覚的調節幅は加齢変化を強くうけ加齢とともに減少する。準他覚的調節幅と年齢の関係についてもHamasakiら²⁰⁾の報告をはじめ幾つか散

見されるが²¹⁾²²⁾、Hofstetter²³⁾の報告を除いて、非直線的な相関関係にあると想像されている。今回は従来の報告よりはるかに多い測定例数を幅広い年齢層から得ることができたが、年齢とはやはり強い負の相関が見られ、一次回帰式を用いて計算した場合、準他覚的調節幅は52歳で0となった。非直線回帰式のモデルとし

て一般に使用される指数回帰曲線を求めたところ、準他覚的調節幅は55歳程度で0に近似した。この曲線の決定係数は一回帰式のものより高く、良いフィッティングを示した。

一般に自覚的調節幅とは、いわゆる水晶体による調節力に焦点深度の影響を含めた明視域を測定しているものと考えられる。一方、準他覚的調節幅は水晶体による最大調節力を屈折値の変化量として測定しているものである。したがって、準他覚的調節幅がほぼ零になると思われる50~55歳でも、焦点深度が深ければ2ジオプトリーに近い自覚的調節幅を示すことは十分に想像できる。この考え方に立てば、水晶体の関与するいわゆる調節力が50歳前後で完全に消失するという今回のデータには全く矛盾はないと考えられる。

調節安静位における屈折値の変動は不随意的に発生すると考えられ、従来調節微動と呼ばれていたものと深く関係していると思われる。調節微動は正しい調節の方向（近方に調節を増すべきか、遠方に調節を緩めべきか）を決める上で積極的な役割を持つ水晶体の動きである⁶⁾。従って、加齢と共に水晶体の可動性が低下すれば、屈折値変動幅も減少してくることが十分に予想される。実際、今回の結果では年齢との間にはかなりはっきりした負の相関が見られた。近見反応負荷後の調節安静位における屈折値変動幅は負荷前より大きくなっているが、これは毛様筋が最大限に収縮した直後の疲労による影響¹³⁾と想像される。

瞳孔面積は、加齢とともに縮小することが以前から報告されている^{24)~26)}。今回の結果でも、近見反応負荷前の瞳孔面積は加齢とともに小さくなり、年齢との間に有意の負の相関が認められた。

対光反応時の縮瞳の加齢変化に関しては、西村²⁴⁾、大西、内海ら²⁶⁾の報告があり、縮瞳量は加齢とともに小さくなり、縮瞳率は加齢とともに悪くなるとされている。今回我々は、これまでに報告のない近見反応負荷による縮瞳の加齢変化を検討したが、ばらつきが著明で加齢との相関は見られなかった。今回の測定では図1に見られるように、縮瞳時にも瞳孔の自然動揺(hippus)が消失しないのが特徴で、これが対光反応時の縮瞳カーブとの違いでもある。このことから、対光反応と調節反応による縮瞳では反応様式が異なり、加齢による影響の現れ方も違うのではないかと想像される。

近見反応後の瞳孔面積の戻りが眼精疲労では悪いことが示唆されているが¹⁴⁾、加齢との関係についての報告はなされていない。今回の結果では、予想に反して、

加齢とともに瞳孔面積の戻りが良くなるという有意傾向の相関が認められた(相関係数0.188)。このデータは、近見反応負荷前の瞳孔面積が年齢とともに縮小することにより大きく修飾されたものと思われる。以上のように近見反応に伴う瞳孔反応と加齢とは明瞭な関係が認められなかったが、今回は内部視標を用いたため、輻輳反応の関与が不十分であり、今後外部視標による測定^{27)~29)}も加え検討を重ねる必要があると考えられる。

今回の検討は31歳以上の女性を対象として行い、その調節・瞳孔反応の各種パラメーターについて多くの情報を得ることができた。しかし、男性と10~20歳代の女性については、作業環境などを同様に設定することが困難なため検討していないので、これらの対象者についても今後検討を加える必要があると考えられる。

文 献

- 1) Tucker J, Charman WN: Reaction and response times for accommodation. *Am J Optom Physiol Opt* 56: 490-503, 1979.
- 2) Owens DA: The Mandelbaum effect: Evidence for an accommodative bias toward intermediate viewing distances. *J Opt Soc Am* 69: 646-652, 1979.
- 3) 鈴木昭弘: 微動調節の研究. *日眼会誌* 79: 1257-1272, 1975.
- 4) 鶴飼一彦, 石川 哲: 調節の準静的特性. *日眼会誌* 87: 1428-1434, 1983.
- 5) 種本康之, 鶴飼一彦, 石川 哲: 調節無刺激状態での異常緊張. *眼光学* 5: 67-74, 1984.
- 6) Ukai K, Ishii M, Ishikawa S: A quasi-static study of accommodation in amblyopia. *Ophthalmic Physiol Opt* 6: 287-295, 1986.
- 7) 高橋裕昭, 蒲山俊夫: 調節の準静的特性の臨床応用—調節ケイレンと調節衰弱の2症例の治療経過について—. *眼科* 28: 467-471, 1986.
- 8) 若倉雅登, 石川 哲: VDT 作業者を含む眼精疲労患者における調節, 特にA/Aの評価—VF点眼液による治療について—. *眼臨* 80: 1331-1337, 1986.
- 9) 蒲山俊夫, 伏屋陽子, 渡会友季子, 他: VDT 作業による調節の準静的特性の変化. *眼科* 28: 1405-1409, 1986.
- 10) 蒲山俊夫, 伏屋陽子, 宮崎仁志: 調節の準静的特性における正常者の加齢変化. *日眼会誌* 91: 494-497, 1987.
- 11) 宮崎仁志, 高橋裕昭, 蒲山俊夫: 頭頸部損傷における調節の準静的特性. *臨眼* 41: 785-789, 1987.
- 12) 蒲山俊夫, 伏屋陽子, 宮崎仁志: VDT 作業負荷が

- 調節機能に及ぼす影響（特に調節の準静的特性の変化について）. 眼科 29: 145-149, 1987.
- 13) 近江源次郎, 木下 茂, 大路正人, 他: 調節弛緩状態における屈折値の変動. 日眼会誌 92: 1854-1858, 1988.
 - 14) 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.
 - 15) 近江源次郎, 木下 茂, 大路正人, 他: 調節の準静的特性における性差. 神経眼科 6: 453-456, 1989.
 - 16) 近江源次郎, 木下 茂, 大路正人, 他: 頭頸部損傷患者の調節準静的特性. 臨眼 43: 261-264, 1989.
 - 17) 近江源次郎, 木下 茂, 松田 司, 他: 円錐角膜における調節・瞳孔異常について. 日眼会誌 94: 186-189, 1990.
 - 18) 木下 茂, 近江源次郎, 藤枝正直: 臨床検査機器としての調節・瞳孔解析装置. 眼紀 40: 1587-1588, 1989.
 - 19) 勝木保次: 感覚の生理学. 生理学大系6, 東京, 医学書院, 486, 1967.
 - 20) **Hamasaki D, Ong J, Marg E:** The amplitude of accommodation in presbyopia. *Am J Optom and Arch Am Acad Optom* 33: 3-14, 1956.
 - 21) **Charman WN:** The path to presbyopia: straight or crooked? *Ophthal Physiol Opt* 9: 424-430, 1989.
 - 22) **Sun F, Stark L, Nguyen A, et al:** Changes in accommodation with age: Static and dynamic. *Am J Optom and Arch Am Acad Optom* 65: 492-498, 1988.
 - 23) **Hofstetter, HW:** A longitudinal study of amplitude changes in presbyopia. *Am J Optom and Arch Am Acad Optom* 42: 3-8, 1965.
 - 24) 西村宣倫: 正常瞳孔反応の解析. 眼紀 28: 1310-1316, 1977.
 - 25) 石川 哲, 大野新治: Tropicamide 単独及び tropicamide, phenylephrine 混合点眼液の散瞳作用の比較について. 日眼会誌 81: 1515-1520, 1977.
 - 26) 大西洋一郎, 内海 隆, 橋本忠男: Open-loop 下対光反応の性差ならびに加齢変化. 眼紀 30: 921-926, 1979.
 - 27) 奥山文雄, 所 敬: 赤外線オプトメーターによる調節測定—内部視標と外部視標の比較—. 眼紀 40: 1592-1593, 1989.
 - 28) 山野智敬, 加藤桂一郎, 八木沼康之: 赤外線オプトメーターによる調節反応内部および外部視標の比較検討. 眼紀 40: 1591, 1989.
 - 29) 奥山文雄: 自然視における調節反応の測定と解析. 神経眼科 5: 131-137, 1988.