

Dark focus of accommodation の生理的特性

伊 藤 忍

山口大学医学部眼科学教室

要 約

現在、暗所での調節状態 (dark focus of accommodation) と明所 (empty field) での調節状態の異同について論争がある。また、これまでの研究で調節安静位は個人差が大きいことも報告されている。著者は、113人の対象について、明所と暗所での調節安静位を測定し、その生理的特性を検討した。その結果、年齢と屈折値は、調節安静位を著しく変化させ、そして調節安静位は、明所でのほうが暗所よりもより近方に位置していることが分かった。しかし一方、40歳台になると、明所での調節安静位は遠点に近づき、明所と暗所での調節安静位はほぼ同じ値と成ることも明らかとなった。このことより、調節安静位は各々の対象者にとって唯一のものではないということが示唆された。(日眼会誌 94:190-196, 1990)

キーワード：調節，調節安静位，ダークフォーカス，エンプティフィールド，生理的特性

Physiological Specificity of Dark Focus of Accommodation

Shinobu Itoh

Department of Ophthalmology, Yamaguchi University School of Medicine

Abstract

There is a controversy concerning the difference between the resting state of accommodation in the dark- (dark focus of accommodation) and that in the light field (empty field). Previous investigations have reported individual differences in resting points, too. In this study, 113 subjects the resting state in the dark- and light-field were measured. It was found that aging and refractive powers cause remarkable changes of the resting state, and the resting state was more myopic in the light field than in the dark field, but the resting state in the light approached the far point in the forties and the state was almost same in the dark- and light field. The results show the resting state may not be identical for all subjects. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 94:190-196, 1990)

Key words: Accommodation, Resting state, Dark focus, Empty field, Physiological specificity

I 緒 言

眼に対する調節刺激の質を低下させていくと、それにつれて調節反応は低下し、極限まで低下させると調節反応は一定の値を示すようになる。この値はレーザーオプトメーターや赤外線オプトメーター等の測定

装置の開発によって測定が可能となり、遠点よりもやや近方、およそ1~1.7diopter (以下 dptr と略す) に位置していることが明らかとなった^{1)~4)}。この値は調節に関係する一切の器官が全く刺激を受けない場合の屈折状態、すなわち調節安静位 (resting state of accommodation) を表すものとされ、最近、調節負荷残効の

別刷請求先：755 宇部市西区小串1144 山口大学医学部眼科学教室 伊藤 忍
(平成元年7月24日受付，平成元年9月1日改訂受理)

Reprint requests to: Shinobu Itoh, M.D. Dept. of Ophthalmol., Yamaguchi Univ. School of Med.
1144 Kogushi, Nishi-ku, Ube 755, Japan

(Received July 24, 1989 and accepted in revised form September 1, 1989)

研究^{5)~15)}や、調節に対する交感神経の関与などの研究においてこの測定が行われている。調節安静位を測定するには、暗所における調節状態 (dark focus of accommodation) や、明所での一様視野(empty field)における調節状態を測定するのが一般的である。これは Leibowitz ら^{1)~3)}が、dark focus と empty field での調節状態には差がないと報告しているからである。ところが、Schor⁸⁾は、dark focus と empty field での調節負荷残効が異なることを述べ、また、Wolfe ら¹²⁾は dark focus と empty field 値が異なっていると報告している。なぜ Leibowitz らと Wolfe らとの結論が異なったのであろうか。それは調節状態の生理的特性を無視したためではないだろうか。すなわち、年齢と屈折状態の影響である。dark focus における調節状態に対する、屈折度の影響については、Maddock ら¹⁶⁾の報告がある。この報告では、遠視眼、正視眼、近視眼によって dark focus の値が異なることを示している。しかし ± 2 dptr のものを正視眼としているため、軽度の屈折異常による影響については不明である。また、屈折度別調節負荷残効も異なる¹⁴⁾ことが知られており、屈折異常が調節安静位に与える影響は大きいと思われる。年齢変化に関しては、Epstein¹⁷⁾¹⁸⁾が年齢が高くなるにつれて dark focus は遠点に近づくと報告してい

る。また、明所での調節状態に対する年齢および屈折度の影響については、山崎¹⁹⁾²⁰⁾の報告があるが、Maddock らとは異なった測定方法であり、両者を簡単に比較することはできない。

著者は、dark focus と empty field での調節状態が、年齢および屈折度によってどう変化するか、さらに、両者は同じものかについて赤外線オプトメーターを使用して両者を測定し比較検討した。

II 実験方法

測定装置は、鵜飼²¹⁾²²⁾が開発した赤外線オプトメーター内蔵の調節測定付きオートレフ AR-1100 (ニデック製) に、パーソナルコンピュータ-PC-9801 VM21を接続した、AR3-SV6システムを使用した。対象は屈折度が -2.25 dptr から $+0.75$ dptr までの113名、225眼で、屈折異常以外に眼科的異常を認めず、矯正視力が0.8以上の10歳から49歳までのものとした。対象者には前夜十分に休息をとるように、また、検査の前には極力近業作業を行わないように指示した。empty field では、内蔵の指標の照明灯を点灯した状態で $+12.5$ dptr に指標を固定して屈折度を測定した。dark focus は、内蔵の指標の照明灯を消灯した状態で、 $+12.5$ dptr に固定し屈折値を測定した。dark

Table 1 Resting state measured in the dark- and light-field. For each of 113 subjects, resting state was measured in two conditions.

Refractive errors		10~19 (Age)	20~29	30~39	40~49
-2.25 -1.76	EF	1.07 ± 0.18	0.38 ± 0.57	1.58 ± 1.50	0.60 ± 0.43
	DF	0.40 ± 0.07	-0.25 ± 0.49	0.25 ± 1.06	0.55 ± 0.44
-1.75 -1.26	EF	0.70 ± 0.55	0.78 ± 0.45	0.53 ± 0.57	0.27 ± 0.16
	DF	0.28 ± 0.31	0.15 ± 0.06	0.06 ± 0.32	0.50 ± 0.39
-1.25 -0.76	EF	0.91 ± 0.62	0.50 ± 0.66	1.00 ± 0.96	0.77 ± 0.93
	DF	0.39 ± 0.58	0.08 ± 0.49	0.26 ± 0.33	0.83 ± 0.78
-0.75 -0.26	EF	1.26 ± 1.00	0.61 ± 0.64	0.95 ± 0.53	0.31 ± 0.75
	DF	0.20 ± 0.63	0.27 ± 0.48	0.58 ± 0.58	0.29 ± 0.61
-0.25 $+0.25$	EF	1.28 ± 1.76	0.87 ± 0.62	1.08 ± 0.51	0.14 ± 0.56
	DF	0.24 ± 0.21	0.40 ± 0.55	0.35 ± 0.49	0.07 ± 0.30
$+0.26$ $+0.75$	EF	0.49 ± 0.30	1.00 ± 0.55	2.76 ± 0.12	0.16 ± 0.20
	DF	0.29 ± 0.43	1.00 ± 0.24	1.18 ± 0.30	0.22 ± 0.17

EF (far point-resting state measured in the empty field)

DF (far point-dark focus of accommodation)

(mean \pm S.D., ** $p < 0.01$, * $p < 0.5$, # $p < 0.1$)

focus と empty field での調節状態は0.08秒ごとに250回測定され、これを自動的に計算させて平均値を求めた。

まず絶対暗室にて5分間暗順応したのち、調節測定モードにて、dark focus を20秒間測定し、次に、empty field での屈折値を20秒間測定した。続いてオートレフモードに切り替えて屈折度を測定し、最後に再び調節測定モードに切り替えて、鶯飼らの方法による準静的特性を記録した。

屈折度は、180度経線での屈折度に換算しなおした。また、調節の準静的特性から調節遠点を求め、暗所での屈折値と調節遠点との差および、明所での屈折値と調節遠点との差を求めそれぞれ遠点-dark focus (以下DF と略す)、および遠点-empty field (以下EF と略す) での値とした。検定方法は、データが正規分布に従うものはt-検定 (t-test) を、従わないものは、Wilcoxon の検定 (W-test) を使用した。

III 結 果

まず、DF, EF を屈折度別にわけ、年齢ごとにDF とEF を比較した (Table 1)。40歳代の者と20歳代で屈折度が+0.26~+0.75dptr の者以外は、すべてその平均値はEF の方が近方に位置していた。30歳代では、すべての屈折度において両者に有意な差が認められた。

また、屈折度が、±0.25dptr の者では、40歳代を除く全ての年代、すなわち10歳代 (W-test, p<0.01)、20

歳代 (t-test, p<0.1)、30歳代 (t-test, p<0.05) で有意な差を認めた (Fig. 1)。

次に、EF の年齢変化を検討した (Fig. 2, Table 2)。正視群、近視群では、40歳代では遠方化する傾向を示した。一方、遠視群では30歳代で有意に近方化し、40歳代になると逆に著しい遠方化を示した。

最後に、DF の年齢変化を検討した (Fig. 3, Table 3)。-0.75dptr 以下の近視群および正視群は年齢的に有意な差はなかった。ところが、-0.76dptr 以上の近視群は40歳代で有意な近方化を示した。一方、遠視群はEF と同様、20歳代、30歳代で有意な近方化を示し、逆に40歳代では著しい遠方化の傾向を示した。

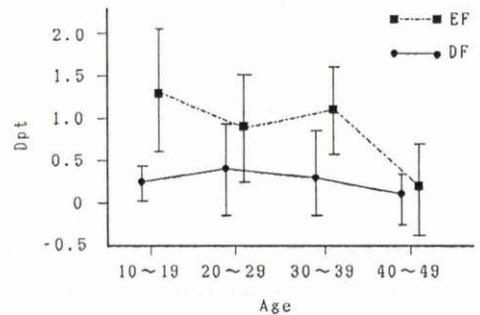


Fig. 1 Resting state measured in the dark- and light-field (refractive errors±0.25dptr) Resting state were more myopic in the light field than in the dark field.

Table 2 Changes of the resting state in the light field with aging.

Refractive errors (dptr)	10~19 (Age)	20~29	30~39	40~49
-2.25~-1.76	1.07±0.18	0.38±0.57	1.58±1.50	0.60±0.43
-1.75~-1.26	0.70±0.55	0.70±0.45	0.53±0.57	0.27±0.16
-1.25~-0.76	0.91±0.62	0.50±0.66	1.00±0.96	0.77±0.93
-0.75~-0.26	1.26±1.00	0.61±0.64	0.95±0.53	0.31±0.75
-0.25~+0.25	1.28±0.76	0.87±0.62	1.08±0.51	0.14±0.56
+0.26~+0.75	0.49±0.30	1.00±0.55	2.66±0.12	0.16±0.20

(mean±S.D., **p<0.01, *p<0.05)

Table 3 Changes of the dark focus of accommodation with aging.

Refractive errors (dptr)	10~19 (Age)	20~29	30~39	40~49
-2.25~-1.76	0.40±0.07	-0.25±0.49	0.25±1.06	0.55±0.44
-1.75~-1.26	0.28±0.31	0.15±0.06	0.06±0.32	0.50±0.39
-1.25~-0.76	0.39±0.58	0.08±0.49	0.26±0.33	0.83±0.78
-0.75~-0.26	0.20±0.63	0.27±0.48	0.58±0.58	0.29±0.61
-0.25~+0.25	0.24±0.21	-0.40±0.55	0.35±0.49	0.07±0.30
+0.26~+0.75	0.29±0.43	-1.00±0.24	1.18±0.30	0.22±0.17

(mean±S.D., **p<0.01, *p<0.5)

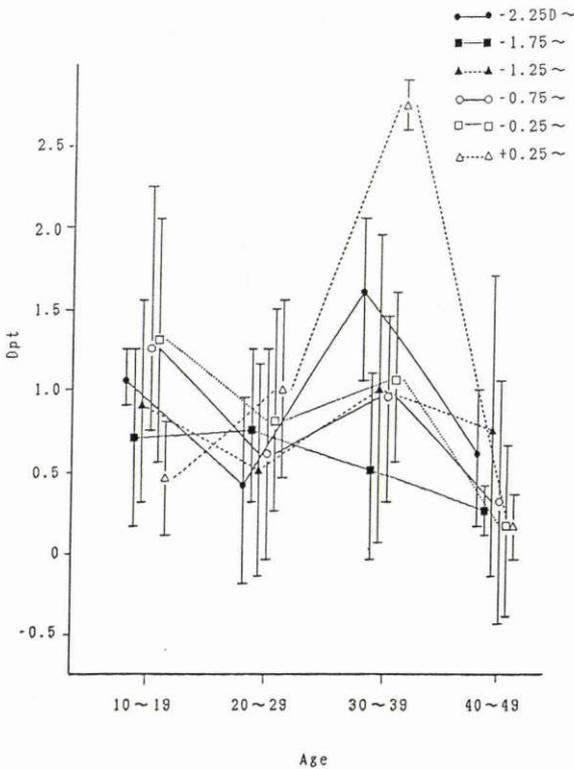


Fig. 2 Physiological specificity of the resting state measured in the light field. The resting state in the light field approached the far point in the forties.

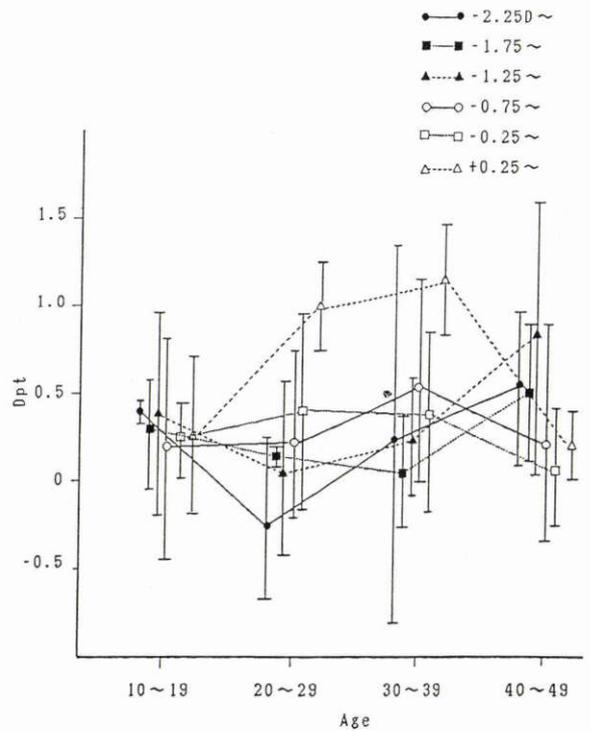


Fig. 3 Physiological specificity of the dark focus of accommodation. Myopic group shift significantly myopic in the forties.

IV 考 按

鶴飼ら²¹⁾によれば、正視眼者では調節刺激が+6dptr以下となると指標はその存在も認められなくなり、一種の調節無刺激状態に相当するとしている。明所での測定においては赤外線オプトメーターのファインダー内の視野がすべて白色視野で覆われていないため定義からは一様視野と言えないが、本研究では絶えずTVモニターにて視線をチェックしており、+12.5dptrに固定された指標は認められずただ光刺激のみ与えられていることから、これは明所での調節無刺激状態ということができ、empty fieldでの調節状態とみなせるものと考えた。

暗所での測定においては、赤色の測定光が、わずかに見え、完全な暗黒ではない。しかし鶴飼ら²²⁾が述べているように、このときの調節の準静的特性での傾きは0となり、調節に対して無刺激状態と考えられる。したがってdark focus、調節安静位の測定には十分な暗黒と考えられた。また、dark focusの安定性に対する報告が多数あるが⁵⁾⁶⁾⁹⁾²³⁾²⁴⁾一定した見解がみられず、対象の測定時の状態については、調節負荷残効防止のため一定の指示を行い、同一人物による両者の測定ということから、変動因子を少なくすることができるものと考えた。

ほぼすべての屈折度において30歳代まではdark focusはempty fieldにおける値より調節遠点側に位置しており、30歳代では両者に有意な差を認めた。また、正視群では40歳代を除いた各年代においてdark focusとempty fieldにおける値に有意な差を認めた。従って正視群においてはdark focusとempty fieldにおける値は異なった値を示すと言える。また屈折異常眼においては、dark focusはempty fieldにおける値よりは近方化してない結果を得た。

Wolfeら¹²⁾はdark focusとempty fieldでの値が異なるのはempty fieldでは刺激を期待し、そのために値が近方へ移動すると結論している。著者の結果もempty fieldでの値が、30歳代まではdark focusよりも近方に位置していた。30歳代までの両者の値の差の原因は、両者の唯一の違いが、光刺激の有無であることから、光自体がなんらかの調節系への刺激となっているか、もしくはWolfeらの言う明所においてより近方に刺激を期待することによるものと考えられる。しかし40歳代になるとempty fieldでの値は著明に遠方化を示しその結果、dark focusとほぼ等しい値を示し

た。

蒲山ら²⁵⁾が赤外線オプトメーターを使用して他覚的に調節力を測定し、35歳頃から急速に調節力やAr/As (Accommodative response/Accommodative stimulus ratio) が低下すると報告している。つまり、30歳後半から急速に調節系が老化することが調節の他覚的な測定によって確認されている。したがってそれと同様に、empty fieldでの値が40歳代で急激にdark focusに近づくのは調節機構の老化を反映して、刺激に対する反応が低下した結果、dark focusとほぼ同じ値を示したものと考えた。

屈折度別に見てみると、正視群のdark focusは年齢によって変動が少ないことが分かる。一方、同じ正視群でもempty fieldでの値はその変動が激しく、年齢によって大きく変化した。これは前述したようにdark focusでは刺激が少ないもしくは、全くないために安定した値を示したものと考えられる。

遠視群はdark focusとempty fieldでの値は同じ様な年齢変化を示し、著しい近方傾向を示した。この遠視群が近方化を示すことはMaddockら¹⁶⁾のdark focusの結果と一致している。Maddockらは、遠視眼においては、近視眼よりも毛様体筋の生理的トーンスが高いためと結論している。しかし、山崎の明所での調節安静位の結果では、若年者では、近方に、壮年者では遠方にずれ、また、著しく近方に安静位がずれる例と、正視眼と差の無い2群に分かれたとし、前者では調節けいれんの状態が観察されたとしている。著者らの遠視群はその程度がごく軽度であり、ある量の屈折異常は毛様体筋の生理的トーンスの変化によって修正される²⁶⁾ことから、それによって近方化が起こったのではないかと考えた。そして、30歳代でさらに著明な近方化を示したのは、調節力の低下に伴って、それをおぎなうために機能的に中枢からの刺激が過剰となり、それに呼応して毛様体筋の緊張が強まり、より近方化をしめしたのであろう。しかし40歳になると調節機能自体の老化にともなって中枢からの刺激に対する反応も低下し遠方化すると考えた。

近視群は30歳代まではdark focusおよびempty fieldでの値ともに、ほぼ正視群と同じか、やや遠方の年齢的变化を示した。Maddockらのdark focusの結果は、有意な差は認められなかったものの、近視群は正視群よりもやや遠方に位置していたと述べている。一方、山崎は、明所での安静位では正視群とほぼ同じか、またはやや近方に位置していたと報告した。

近視群の場合には、調節安静位だけではなく遠点も近方にずれる。従って、両者の移動量の大きさによって遠点からの調節安静位の距離が決定される。山崎らは、いわゆる偽近視ではまず調節安静がさきに移動し、そのため安静位の近方化がおこり、近視となると、遠点も近方化するため、結果として安静位は正視眼と変わらなくなるとしている。著者の結果は偽近視については検討していないため、近視群のみの変化を示したものと考えられる。

40歳代になると dark focus において -0.76dptr 以上の近視群では近方化に向った。これは empty field における値の変動に比べて dark focus の変動が少ないためにきわだった変化として現れたものと考えられる。調節機能の低下に伴って、近視群の器質的な毛様体筋の緊張がより強く現れたのかもしれない。これは40歳代における dark focus と empty field での値が共に近視群の方がより近方に位置していることから推測される。

今回の実験によって、dark focus と empty field の値は同じものではないということ、そして両者はわずかな屈折状態の差や年齢によっても複雑に変化し、その変化は dark focus と empty field によって異なっていること、最終的に40歳代になると調節機能の低下ともなって同じ値を示すようになることが明らかとなった。Leibowitz ら¹¹⁾は視力が0.8もしくは1.0以上の18歳から24歳の者を対象として実験を行っている。一方 Wolfe ら¹²⁾は屈折度については言及しておらず対象者は18歳から31歳の者としている。したがって両者とも対象者の屈折度については不明でありまた年齢にも差が認められ、両者の結果が異なっても不思議ではない。いずれにしても両者ともそれぞれ dark focus と empty field での調節状態のある異なった断面をとらえて比較したにすぎないのである。さらにこの生理的特性の違いから、調節安静位は調節系に対する完全な無刺激状態における調節状態という定義からすれば、dark focus のほうがより調節安静位に近いと考えた。

稿を終えるにあたり、ご指導ご校閲を賜りました栗本晋二教授に深甚なる謝意を表します。また、本研究に際し、終始有益な御助言を賜った産業医科大学岩崎常人博士に深謝致します。なお本論文の要旨は、第93回日本眼科学会総会で発表した。

文 献

1) Leibowitz HW, Owens DA: Night myopia

and the intermediate dark focus of accommodation. *J Opt Soc Am* 65: 1121—1128, 1975.

- 2) Leibowitz HW, Owens DA: Anomalous myopia and the intermediate dark focus. *Science* 189: 646—648, 1975.
- 3) Leibowitz HW, Owens DA: New evidence for the intermediate position of relaxed accommodation. *Doc Ophthalmol* 46: 133—147, 1978.
- 4) Epstein D, Ingelstam E, Jansson K, et al: Low-luminance myopia as measured with a laser optometer. *Acta Ophthalmol* 59: 928—943, 1981.
- 5) Ebenholtz SM: Accommodative hysteresis: A precursor for induced myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 24: 513—515, 1983.
- 6) Baker R, Brown B, Garner L: Time course and variability of dark focus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 24: 1528—1531, 1983.
- 7) Schor CM, Johnson CA, Post RB: Adaptation of tonic accommodation. *Ophthalmol* 4: 133—137, 1984.
- 8) Schor CM, Kotulak JC, Tuetaki T: Adaptation of tonic accommodation reduces accommodative lag and is masked in darkness. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27: 820—827, 1986.
- 9) Pigion RG, Miller RJ: Fatigue of accommodation: Changes in accommodation after visual work. *Am J Optm Physiol Optics* 62: 853—863, 1985.
- 10) Tan RKT, O'Leary DJ: Stability of accommodative dark focus after periods of maintained accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27: 1414—1417, 1986.
- 11) Owens DA, Wolf-Kelly K: Near work, visual fatigue, and variations of oculomotor tonus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 743—749, 1987.
- 12) Wolfe JM, O'Connell KM: Adaptation of the resting states of accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 992—996, 1987.
- 13) Ebenholtz SM, Zandert PAL: Accommodative hysteresis: Influence on closed loop measures of far point and near point. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 1246—1249, 1987.
- 14) McBrien NA, Millodo M: Differences in adaptation of tonic accommodation with refractive state. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 29: 460, 1988.
- 15) Miller RJ, Takahama M: Arousal-related changes in dark focus accommodation and dark vergence. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 29: 1168—1178, 1988.
- 16) Maddock RJ, Millodot M, Leat S, et al:

- Accommodation responses and refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 20: 387-391, 1981.
- 17) **Epstein D**: Accommodation as the primary cause of low-luminance myopia. *Acta Ophthalmol* 61: 424-430, 1983.
 - 18) **Epstein D**: The correlation between the amplitude of accommodation and low-luminance myopia. *Acta Ophthalmol* 62: 955-960, 1984.
 - 19) 山崎秀樹: 調節安静位の臨床的研究. *日眼会誌* 80: 1668-1681, 1976.
 - 20) 山崎秀樹: 調節安静位の臨床的研究. *日眼会誌* 81: 577-589, 1977.
 - 21) 鶴飼一彦, 石川 哲: 調節の準静的特性. *日眼会誌* 87: 1428-1434, 1983.
 - 22) 鶴飼一彦, 石川 哲, 市橋裕一, 他: Dark focus of accommodation の測定. *眼光学* 8: 61-65, 1987.
 - 23) **Owens RL, Higgins KE**: Long-term stability of the dark focus of accommodation. *Am J Optom Physiol Optics* 60: 32-38, 1983.
 - 24) **Miller RJ**: Temporal stability of the dark focus of accommodation. *Am J Optom Physiol Optics* 55: 447-450, 1978.
 - 25) 蒲田俊夫, 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.
 - 26) **Duke-Elder S, Abrams D**: *System of Ophthalmology*, Vol 5. London, Hery Kimpton, 257-267, 1970.
-