

調節および瞳孔の残余効果 (after-effect) に及ぼす 視距離の影響と調節安静位

岩崎 常人, 秋谷 忍

産業医科大学眼科学教室

要 約

調節安静位は、交感・副交感両神経の機能的な平衡状態を示し、調節の成立に関しては、安静位から遠点までは、交感神経の働きが優位となり、安静位から近点までの間は、副交感神経の働きが強まると云われている。安静位を中心としてその前後において視覚負荷が与えられた場合の、調節への残余効果の違いについて実験的検討を行った。また同様に、瞳孔の反応も観察した。視距離 0.4 m と 1 m の条件での負荷後の変化は、調節弛緩時間のみに現れ、延長する傾向を認めた。しかし、視距離 1.5 m と 3 m での負荷の後には、弛緩時間に変化はみられず、逆に調節緊張時間に著明な遅延が認められ、縮瞳面積も増加した。さらに 3 m の場合では、近方刺激に対して調節応答量の差が上昇し、過小な調節が行われる様になった。縮瞳時間に関しては、各条件とも変化はなかった。安静位を境として、それよりも遠方での負荷の場合と近方での負荷の場合で調節と瞳孔へ与える影響は異なり、残余効果に違いを認めた。(日眼会誌 96: 1268—1273, 1992)

キーワード：調節安静位、調節、瞳孔、視距離、視覚労働

Accommodative Resting Position and the Effect of Viewing Distance on After-effects of Accommodation and the Pupil

Tsuneto Iwasaki and Shinobu Akiya

Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health

Abstract

The resting position of accommodation is determined by the equilibrium established between sympathetic and parasympathetic tone. To accommodate for near objects is brought about by excitation of the parasympathetic, and distant objects call for excitation of the sympathetic system. To investigate accommodation and pupil after-effects following the 10 min visual task with stereoscopic three dimensional image, the measurements of the dynamic responses of accommodation and pupil were made. When the subjects worked at 0.4 m (closer than their resting state) and at 1 m corresponded to their resting positions, the response delay in accommodative relaxation occurred in each condition. When they worked at outside their resting position (1.5 m and 3 m viewing distances), the significant response delay in contraction in the groups of 1.5 m and 3 m, and the increases of accommodation error and the area of miosis were shown. There was a fact that the after-effect on accommodation and pupillary function was different between in the case of tasks given inside and outside their resting positions. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 96: 1268—1273, 1992)

Key words: Resting position of accommodation, Accommodation, Pupil, Viewing distance, Visual task

別刷請求先：807 北九州市八幡西区医生ヶ丘1-1 産業医科大学眼科学教室 岩崎 常人
(平成3年12月27日受付，平成4年4月22日改訂受理)

Reprint requests to: Tsuneto Iwasaki, M.D. Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, 1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu 807, Japan

(Received December 27, 1991 and accepted in revised form April 22, 1992)

I 緒 言

Toates¹⁾の調節に関するメカニカルモデルによれば、調節安静位は、交感・副交感両神経系の機能的な平衡状態を示していると云われ、安静位から調節遠点までの間にある対象物を見る時は、交感神経系の働きが優位となり(negative accommodation, 邦訳：遠方調節²⁾)、安静位から近点までの距離にあるものを見る場合は、副交感神経の働きが強まる(positive accommodation, 邦訳：近方調節²⁾)。この説が事実であるとするなら、調節安静位を中心として、その前後において視覚負荷または視作業が与えられた場合、調節へ及ぼされる負荷の after-effects³⁾(残余効果と訳す)に何等かの違いが認められる可能性がある。

例えば VDT 作業等の視覚労働における眼精疲労や種々の眼に関する不定愁訴に対して、これを軽減させる人間工学的対策を研究する目的で、調節の安静位と視距離との関係の報告があり⁴⁾、視覚労働における調節安静位の役割を考察している。生活環境においても狭い空間と広い空間に置かれた場合、調節の dark focus (DF) や tonic accommodation の変化に与える影響の異なる事が報告されている⁵⁾⁶⁾。これらの報告は、Toates の説に基づき、調節の残余効果を検討したものではないが、負荷に対する種々の視距離が調節に及ぼす影響として、それぞれ異なる変化を与える事が結果として呈示されている。

Toates の説が正しいとするなら、労働環境を改善する上に、機械と人間との間に存在する視距離の要因は非常に重要である。つまり、調節へ与える影響が、安静位を中心として負荷が内側であった場合と外側にあった場合でそれぞれ異なり、残余効果の特徴に違いが存在すれば、例えば VDT 作業や監視作業での表示画面までの視距離を如何にするかと云った人間工学的対策の方向も違う。また同種の作業や労働環境が引き起こす眼精疲労も、その視覚生理機能の低下の様態が異なり、眼科学的な治療の方針も異なる。そこで調節安静位を境として視覚負荷を加えた場合の、調節と瞳孔の残余効果について実験的検討を行い、主として調節の結果について考察を加えた。

II 方 法

1. 対象

明所における empty field (一様視野と訳す) の状態で測定した調節の安静位がほぼ -1.0 D にあり、裸眼

視力 1.0 以上の遠視眼ではない女子 6 例(平均年齢: 21.1 歳)を選択した。調節安静位の決定にあたっては、赤外線オプトメーター(AR 2000, ニデック)内の視標を、各被験者の遠点から $+5$ D 分遠方の位置から近点に向かって 0.2 D/sec の速度で移動させ、その応答記録から求めた。つまり、視標の位置が被験者の遠点より遠方にあり、雲霧の状態になっている時の平均屈折値を、その被験者の調節安静位と考えた(図 1)。

2. 視覚負荷方法

19 inch CRT 画面(KV-19 HTIA, ソニー)上に、中央の円(視角: 約 0.7°)が赤色、緑色、青色に無作為に変化する視角 2° の白色の正方形をコンピューター(X 6800 CZ-611 C, シャープ)によって作成し呈示した(図 2)。被験者には、液晶シャッター眼鏡(STS 220, ワキタ)を装着させ、その正方形像を 2 秒間は平面画像として、また 4 秒間は両眼視差(30 min arc)を用いた立体画像として合計 10 分間交互に呈示した。

立体像の形成時には、同一の正方形像を 1 秒間にそれぞれ 30 回づつ画面の第 1 フィールドと第 2 フィールドに交互に呈示させ(フィールド周波数: 60 Hz)、これらの呈示像をテレビの垂直同期信号と同調させた前述の液晶シャッター眼鏡を通して、被験者の左右眼に視線の交叉法によって分離して投影させ、前方へ飛び出す立体像として呈示した。平面像呈示時および立体像呈示時ともに、正方形の中心円の色は常に無作為に変化させられ、赤色と緑色に変わった時だけ、被験

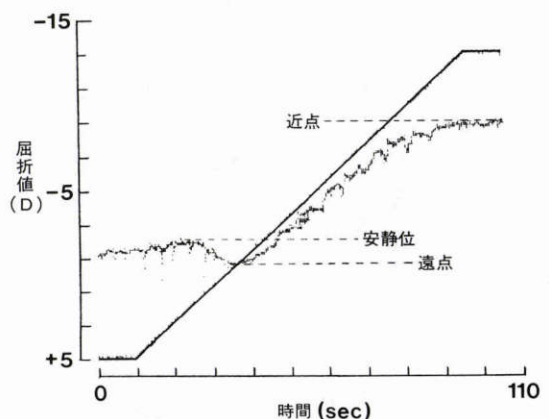


図 1 調節安静位の決定法。

赤外線オプトメーター内の視標(スターバースト)を $+5$ D の遠視側から -10 D の近視側まで 0.2 D/sec の速さで移動。実線: 視標の移動, 点線: 調節の応答

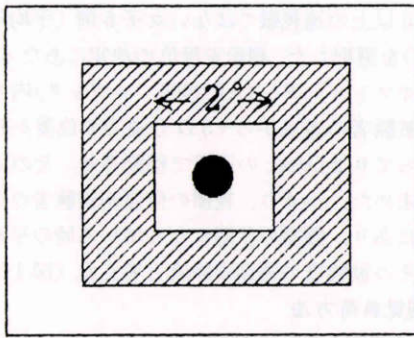


図2 19 inch CRT画面上での負荷として呈示した正方形像。

白抜部：白色表示，斜線部：画面の背地，
黒色部：赤・緑・青へ無作為に変化。

者に指定したボタンを押させる色の選択反応を負荷した。

以上の調節への刺激画像を，①安静位よりも近方である0.4 m(0.4 m群)，②安静位近傍である1 m(1 m群)，③安静位より僅かに遠方に位置する1.5 m(1.5 m群)および，④安静位より遠方である3 m(3 m群)の距離からの3種の条件下で与えた。室内照度を約50 lxとし，CRT画面の後方に暗幕を設置し，さらに液晶シャッター眼鏡を装着する事によって，CRT画面の輪郭を明視出来ないようにした。

3. 調節と瞳孔反応の測定

調節および瞳孔反応は，負荷による残余効果を捉える事を目的としたため，負荷が与えられる系と測定系とを別にし，負荷の前と負荷が終了した直後10秒経過

の時点で行った。調節の測定には，赤外線オプトメーター(AR 2000，ニデック)を用い，オプトメーター内の視標を各被験者の遠点と近点に相当するdiopter(D)からそれぞれ1 Dずつ調節域内に移動した位置に設定し，右眼のステップ応答を5秒間隔で5回捉えた。その時，同様にステップ刺激に対する瞳孔の反応を，オプトメーターに付帯したビューピロアナライザー(竹井機器)によって同時記録した。

波形の解析には，得られた5つの波形をコンピュータ上で平均波形とし，負荷の前後における調節時間と調節応答量の差，縮瞳時間，縮瞳面積を算出した(図3)。調節時間に関しては，遠方視標から近方視標へ切り替わった時点から近方視標への調節応答が終了したと考えられる変極点までを調節緊張時間(Ct)とし，逆に近方視標から遠方視標へ切り替わった時点から遠方視標への応答が終了したと考えられる点までを調節弛緩時間(Rt)とした。調節応答量の差については，近方刺激に対する刺激量と反応した実際の応答量との差(Cg)を近方への調節応答量の差として，また遠方刺激量に対する応答量との差(Rg)を遠方への調節応答量の差として求めた。縮瞳時間(Mt)は，近方刺激が呈示されてから，最大縮瞳に達するまでの時間とし，縮瞳面積(Ma)は，遠方刺激時に認められた瞳孔の平均面積と最大縮瞳時の面積との差を用いた。

4. 統計処理

各測定項目とも負荷前の値と負荷後の値をそれぞれ対応のある場合のt検定によって，危険率10%以下の場合を変化の傾向があると考え，危険率5%以下の場合を有意な変化の判定基準とした。調節と瞳孔の各測

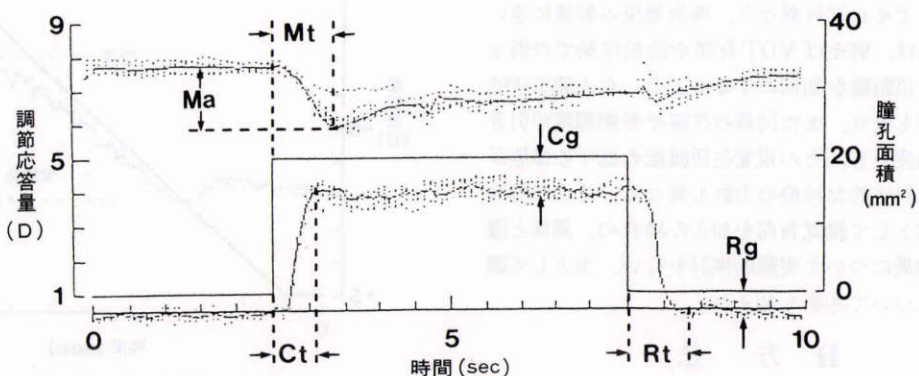


図3 調節と瞳孔波形の解析(上：瞳孔，下：調節)。

Ct：調節緊張時間，Rt：調節弛緩時間，Cg：近方視標に対する調節応答量の差，
Rg：遠方視標に対する調節応答量の差，Mt：縮瞳時間，Ma：縮瞳面積

定項目における、各群の負荷前の値に有意差のない事を対応のない場合のt検定によって確認した。

III 結 果

1. 調節時間と調節応答量の差の変化

4つの群における調節緊張・弛緩時間の変化を表1に示し、応答量の差の負荷前後にみられた変化を表2に示す。調節緊張時間に関しては、0.4 m 群、1 m 群ともに負荷後に延長を示すが、統計的な差は認められなかった。しかし1.5 m 群では、負荷前の平均値が813 msであり、負荷後が907 msと延長する傾向をみた($p<0.1$)。3 m 群においては負荷前の平均値が887 msであったのに対して、負荷後には1,140 msと著しい延長を示した($p<0.01$)。弛緩時間に関しては、逆に1.5 m 群と3 m 群には、全く差を認めなかったが、0.4 m 群の場合が827 ms から1,140 ms へと、また1 m 群では820 ms から893 ms へと延長する傾向($p<0.1$)

を認めた。この傾向は、平均値の変化で云えば、0.4 m 群に大であった(表1)。

調節応答量の差に関しては、遠方刺激に対する差(Rg)の変化は認められなかったが、近方刺激に対する差(Cg)では、3 m 群に差の増大が認められ、0.4 m 群と1 m 群、1.5 m 群では認められなかった。この応答量の差の増大は、与えられた近方刺激位置よりも遠方に、つまり調節の応答が過小になった事を意味した(表2)。

2. 縮瞳時間と縮瞳面積の変化

縮瞳時間については、4群ともに負荷前後における変化は認められなかった。縮瞳面積の変化では、0.4 m 群と1 m 群には差は示されなかったが、1.5 m 群と3 m 群においては、負荷後に縮瞳面積が有意に増加し、近方刺激に対する瞳孔の反応が著明に増大した(表3)。

表1 調節緊張時間(Ct)及び調節弛緩時間(Rt)の変化(平均値±標準偏差)

	0.4 m		1.0 m		1.5 m		3.0 m	
	前	後	前	後	前	後	前	後
Ct (ms)	860 ±196	940 ±300	860 ±215	940 ±332	813 ±118	907* ±165	887 ±298	1,140** ±357
Rt (ms)	827 ±109	1,140* ±444	820 ±168	893* ±248	807 ±148	827 ±41	880 ±186	813 ±140

* $p<0.1$, ** $p<0.01$

表2 近方視標に対する応答量の差(Cg)および遠方視標に対する応答量の差(Rg)の変化(平均値±標準偏差)

	0.4 m		1.0 m		1.5 m		3.0 m	
	前	後	前	後	前	後	前	後
Cg (D)	+0.70 ±.39	+0.72 ±.39	+0.73 ±.25	+0.80 ±.36	+0.61 ±.29	+0.63 ±.32	+0.69 ±.32	+0.86* ±.28
Rg (D)	+0.35 ±.27	+0.33 ±.29	+0.35 ±.30	+0.32 ±.27	+0.30 ±.22	+0.25 ±.27	+0.30 ±.29	+0.37 ±.24

* $p<0.05$, +Cg, +Rg: 視標呈示位置から遠方への調節を示す

表3 縮瞳時間(Mt)と縮瞳面積(Ma)の変化(平均値±標準偏差)

	0.4 m		1.0 m		1.5 m		3.0 m	
	前	後	前	後	前	後	前	後
Mt (ms)	1,087 ±234	1,087 ±229	1,180 ±295	1,342 ±888	1,065 ±157	1,053 ±192	1,113 ±314	1,287 ±294
Ma (mm ²)	9.6 ±4.4	8.8 ±2.3	9.1 ±4.3	9.7 ±4.1	5.9 ±4.1	7.7* ±4.0	7.8 ±3.1	10.1** ±3.0

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

IV 考 按

色の選択反応を行わせた事は、被験者が画像から視線を外す副次的動作を可能な限り少なくさせる事を目的とした。また立体像の呈示を組み入れた事は、両眼視差による調節と輻湊の不均衡が、調節に対する刺激を短時間の間に増大させる効果があると考えたためである。視距離0.4 mと1 mの条件での負荷後の変化は、調節弛緩時間のみに現れ、緊張時間や瞳孔の反応には変化を認めなかった。しかし、視距離3 mでの負荷の後には、弛緩時間に変化はみられず、逆に調節緊張時間に著明な遅延が認められた。さらに、近方刺激に対して応答量の差が上昇し、過小な調節が行われる様になり、縮瞳面積も増加した。この様にこの実験の負荷方法によって、視距離の変化に応じて、調節と瞳孔へ与える影響は異なり、残余効果に違いを認めた。

視距離と調節との関係には、負荷を加えた後の dark focus (DF) の変動の研究がある。与えられる負荷が近方調節で与えられた場合と遠方調節で与えられた場合では、DF が遠方へシフトするか近方へシフトするかによってそれぞれの場合に違いを認めている⁶⁾。また視覚負荷が与えられた時の視距離の変化に応じて、負荷後に認められる DF の回復パターン (regression pattern) が、被験者の本来あった安静位より内側に回復する場合と、安静位より外側に移行して安定する場合のある事が報告されている⁷⁾。

今回の実験での視覚負荷の場合、0.4 m での負荷は、各被験者の安静位よりも内側にあり近方調節にあたる。また3 m の場合は、明らかに遠方調節に相当する。Toates の説が正しければ、0.4 m での負荷の間、調節は副交感神経系の興奮と交感神経系の抑制が存在し、効果器である毛様体筋に関して言えば前者に支配される筋は収縮し、後者に支配される筋は弛緩していた事となる。近方視の状態から遠視標に対する遠方視を行う場合には、交感神経系のより積極的な興奮と副交感神経系の抑制が生じなければならない。しかし、近方調節での神経系への効果と両者の筋の収縮と弛緩が残存していたとすれば、遠方視での反応は遅くなり、弛緩時間のみが遅延し、今回の結果と合致する。3 m での負荷の場合には、交感神経系の興奮と副交感神経系の抑制が働き、効果器に関しては0.4 m の場合と逆の収縮と弛緩が働いていた事となる。つまり近方視における緊張時間に対する反応の遅れが現れたと考えられる。

従来から云われている様に、調節遠点が調節の最も安静な位置であり、それから内側での調節が、神経パルスによる毛様体筋を収縮させる一方向のみによって規定されるとすれば、0.4 m や3 m のいずれの負荷の場合でも、副交感神経系の興奮から起こる結果のみが残余効果として出現し、近方視から遠方視への調節の反応にのみ遅れがみられ、残余効果に違いは認められないはずである。従って、今回の実験結果は、残余効果の点から、Toates の近方・遠方調節に必要とされる神経系の興奮・抑制の関係を支持する一つの結果であると考えられる。また瞳孔反応の変化についても、使用した被験者の安静位よりも外側で負荷がなされた1.5 m と3 m 群にしか認められず、残余効果に違いが存在した。3 m 群に至っては、視距離の遠方化に伴う刺激の増大によって、1.5 m 群よりもさらに著しい縮瞳が観察されたが、これに対応したと考えられる調節の過小な応答量の変化も認められた。

安静位近傍において負荷された1 m 群の変化が、0.4 m 群の変化と同一のパターンを示した事には少なからず検討の余地がある。Toates によれば、調節の安静位は両者の神経系の興奮と抑制の関係が、ちょうど平衡状態にある処と考えられている。視覚負荷によって起こる中枢性の疲労や、全身疲労から誘起されると考えられる調節への影響を無視するとすれば、著しい調節の残余効果は認められないはずである。この結果の解釈としては、三つの事も考えられる。

一つは、例数の問題である。0.4 m 群、1 m 群ともに変化があり、危険率10%以下でその傾向を認めている。弛緩時間の平均値の変化でみれば、0.4 m 群は1 m 群よりも明らかに大きな変化を示した。統計処理の上からすれば、例数の増加によって、0.4 m 群に著明な変化が生じ両者の群での変化の差に開きが生まれる可能性は残されている。二つ目は、輻湊の安静位 (dark vergence⁸⁾) との関係である。両眼視の状態で負荷を加えているために、各被験者の輻湊の安静位が調節安静位よりも外側に位置していたとすれば、1 m 群においても輻湊からの近見刺激が、調節を近方調節の状態に誘導した事が推測され、0.4 m 群と類似した残余効果をもたらしたと考えられる。しかし各被験者の輻湊の安静位を測定してみなければ、明確な事は云えない。三つ目は、調節安静位の決定の方法である。今回は明所での一様視野における測定を行ったが、絶対暗黒 (total darkness) の場合に得られる安静位と明所での安静位では、異なるとする報告⁹⁾¹⁰⁾と同一であるとする

る報告¹¹⁾¹²⁾があり、未だに統一された見解は得られていない。伊藤¹³⁾の報告によれば、若年者では明所における安静位が、暗所におけるよりも近方に位置するとある。今回の実験は、明所で測定した場合を安静位と定義した。暗所における値を安静位であると定義すれば、1 m 群は安静位よりも内側で負荷が加わった事になり、0.4 m 群と同様の残余効果があったとしても矛盾しない。これを確認するには、暗所における各被験者の安静位を測定し、実験条件の追加が必要である。また遠点から5 D 分視標を遠ざけただけでは、ある被験者において完全な雲霧の状態になっていなかった可能性もあり、もし視標がボケを伴って認識されていたとすれば、測定された安静位は本来の安静位よりも遠方へシフトしていた可能性もある。

しかし少なくとも、明らかに安静位の外側で負荷がなされたと考えられる3 m 群、内側で負荷が加えられたと考えられる0.4 m 群では、残余効果として全く逆の結果が現れた。この事は、調節の機構に対するToatesの説を支持する材料の一つであるとともに、視覚労働に伴って発症する種々の医学的問題に対して眼科学的、人間工学的対策を考慮する場合に、画一的方法をとってはならない事を示唆するものである。

本論文の内容は、第45回日本臨床眼科学会テクノストレス眼症研究会で発表した。

文 献

- 1) Toates FM: Accommodation function of the human eye. *Physiol Rev* 52: 828—863, 1972.
- 2) 土屋邦彦, 青木 繁, 石川 哲: VDT 作業と調節. *眼科* 33: 41—49, 1991.
- 3) Tsuchiya K, Ukai K, Ishikawa S: A quasi-static study of pupil and accommodation after effects following near vision. *Ophthalmic Physiol Opt* 9: 385—391, 1989.
- 4) Jaschinski-Kruza W: Visual strain during VDT work: The effect of viewing distance and dark focus. *Ergonomics* 31: 1449—1465, 1988.
- 5) Rosenfield M, Ciuffreda KJ: Effect of surround propinquity on the open-loop accommodative response. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 32: 142—147, 1991.
- 6) Tan RK, O'Leary DJ: Stability of the accommodative dark focus after periods of maintained accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27: 1414—1417, 1986.
- 7) Bullimore MA, Gilmartin B: The measurement of adaptation of tonic accommodation under two open-loop conditions. *Ophthalmic Physiol Opt* 9: 72—75, 1989.
- 8) Owens DA, Wolf-Kelly K: Near work, visual fatigue, and variations of oculomotor tonus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 743—749, 1987.
- 9) Schor CM, Kotulak JC, Tsuetaki T: Adaptation of tonic accommodation reduces accommodative lag and is masked in darkness. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27: 820—827, 1986.
- 10) Wolfe JM, O'Connell KM: Adaptation the resting states of accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 992—996, 1987.
- 11) Leibowitz HW, Owens DA: Anomalous myopia and the intermediate dark focus of accommodation. *Science* 189: 646—648, 1975.
- 12) 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.
- 13) 伊藤 忍: Dark focus of accommodation の生理的特性. *日眼会誌* 94: 190—196, 1990.