

調節安静位と視距離の関係からみた調節の静的特性

岩崎 常人, 秋谷 忍

産業医科大学眼科学教室

要 約

調節安静位を中心として、それよりも近方への調節がなされた場合と、それよりも遠方への調節がなされた場合で、調節を制御する神経系の興奮がそれぞれ異なるといわれる。したがって、安静位を境に対象物を注視する時の調節の在り方は、安静位の内側で注視した場合と外側で注視した場合で何らかの違いの生じる可能性があると考えられる。そこで、安静位の内側と外側の視距離でそれぞれ視覚負荷を与え、その時の一定距離における眼屈折の変化を静的な調節として赤外線オプトメーターで測定し、調節の動態を比較した。その結果、被験者の安

静位の内側で負荷が加わった場合、時間経過とともに静的な調節は近方へシフトし、逆に外側で加わった場合には遠方へシフトした。このことから、安静位を中心として、内側で注視する場合と外側で行われる場合では、調節を制御する機構に何らかの違いのあることが考えられた。(日眼会誌 99:607-611, 1995)

キーワード：静的な調節, 調節安静位, 視距離, 赤外線オプトメーター

Static Characteristics of Accommodation on the Relationship between Accommodative Resting Position and Viewing Distance

Tsuneto Iwasaki and Shinobu Akiya

Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan

Abstract

The steady-state accommodation of subjects during a 15 min visual task was measured in real time by an infrared optometer to investigate the relationship between accommodative resting position and the effect of viewing distance. When the subjects were loaded at 50 cm (closer than their resting state), the steady-state accommodation showed an inward shift which was enhanced when computation was done. On the contrary, when they worked outside their resting position-2 m viewing distance-, an outward shift of steady-state accommodation

was seen in the control group who reacted only to the visual objects displayed. For the mental task group this was not evident. It appears that the steady-state accommodation is different between the cases of visual stimuli given inside and outside the resting position. (J Jpn Ophthalmol Soc 99: 607-611, 1995)

Key words: Steady-state accommodation, Resting position of accommodation, Viewing distance, Infrared optometer

I 緒 言

毛様体筋は、交感神経と副交感神経による自律神経系の機能的な二重支配を受けているといわれる。調節への副交感神経系の役割はHelmholtzの弛緩学説が受け入れられて以来周知のことであるが、交感神経系の積極的な関わりについては、確からしいとする報告^{1)~6)}も多いが確定されていない。Toates⁷⁾の説によれば、安静位を中心として、それよりも近方への調節(positive accommo-

dation, 近方調節と訳される場合もある⁸⁾)がなされた場合には、副交感神経系が能動的に関与し、それよりも遠方への調節(negative accommodation, 同様に遠方調節⁸⁾)がなされた場合には、交感神経系の働きが積極的であるという。

この説に従えば、安静位より内側の距離で対象物が負荷された場合には、副交感神経系が興奮し交感神経系は抑制されている状態が続き、逆に安静位より後方の距離で負荷された場合には、交感神経が興奮し副交感神経系

別刷請求先：807 福岡県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6年8月15日受付, 平成6年12月27日改訂受理)

Reprint requests to: Iwasaki Tsuneto, Ph.D. Department of Ophthalmology, university of Occupational and Environmental Health, Japan. 1-1 Iseigaoka Yahatanishi-ku Kitakyoshu-shi Fukuoka-ken 807, Japan

(Received August 15, 1994 and accepted in revised form December 27, 1994)

が抑制された状態が続くと考えられる。負荷の影響が調節にあるとすれば、安静位を中心として影響のあり方に何らかの違いの存在する可能性がある。

両眼視差法によって再生された立位映像を視覚負荷として用いた実験では、各被験者の調節安静位の内側で映像を注視した後の調節のステップ応答は、近方視から遠方視をした時のいわゆる調節弛緩時間に延長が認められ、逆に安静位の外側で注視した後は、遠方視から近方視のいわゆる調節緊張時間に遅れを認めている⁹⁾。このように、映像の視覚負荷が与えられた場合の残余効果に安静位を境として相反する影響が現れることは、安静位が調節の生理的機構上、重要な意味を有する点であることを推測させられる。

例えば、長時間の視覚負荷が加わった時の眼精疲労を考える場合、各被験者の屈折状態が異なれば、安静位の空間上の位置も異なり、ある人は安静位の内側で視対象を注視し、また、ある被験者は安静位の外側で作業を行っている可能性がある。そうなれば、同じ訴えとして出てくる眼精疲労であっても、調節の生理的様態は異なっていることになり、視覚負荷が加えられている時の安静位の存在は無視できない。そこで、実際に視覚刺激を与えている時の調節をリアルタイムで測定し、静的な調節として安静位を境として視距離の影響が異なるか否かについて実験的に検討した。

II 方法

負荷方法は、調節の変動を平均屈折値の変化としてリアルタイムで測定することを目的としたため、図1に示す方法によって行った。負荷の内容は、CRT画面(PC-KD 853, NEC)中央に数式(白色, 30 cd/m²)をマイクロコンピューター(PC-9801 UV, NEC)によって、無作為に2秒間繰り返し表示した。被験者をコンピューターの横に設置している赤外線オプトメーター(AR 2000 改造型, NIDEK)¹⁰⁾¹¹⁾の顎台に固定し、右眼眼前のダイクロイックミラーを通して、それらの数式を15分間注視させた。刺激となる数式が呈示されるCRT画面の位置は、各被験者の調節安静位がほぼ-1ジオプター(D)であり(後述)、実際の理論的位置を約1mであると考え、二つの刺激距離を設定した。一つは安静位の調節から1D分近方に値する眼前からの距離を50cmとした場合と(図1A)、他の一つは安静位の調節から0.5D分遠方に値する2mの距離で負荷した場合であった(図1B)。いずれの場合も、視距離の変化に影響されることなく、数式の大きさは視角1.7度であった。

さらに呈示される数式に対して、二通りの異なる指示を被験者に与えた。一つは、それらの数式を計算させ正誤の判定をキーボード上で応答させる課題を与えた場合(task群)と、他の一つは対照として数式の呈示が切り替わった時点で、新しく呈示された数式を認知したか否か

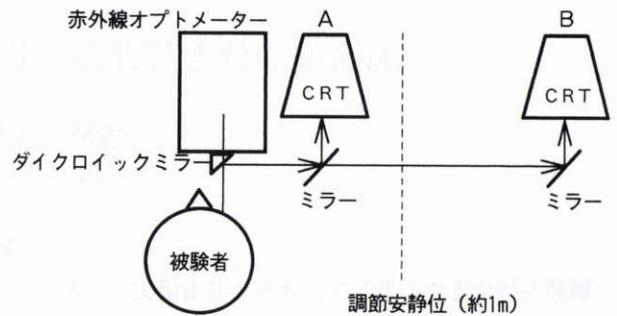


図1 視対象注視時の赤外線オプトメーターによる静的な調節の測定。

A: 視距離を50cmとして被験者の調節安静位内に対象を置いた場合, B: 視距離を2mとして被験者の調節安静位外に対象を置いた場合, CRT: Cathode Ray Tube

を単に確認するために、その応答のみをキーボード上のボタンで答えさせた場合(対照群)の二通りであった¹²⁾。すべての負荷条件は、50cmと2mとの各視距離の場合について、それぞれ二通りの負荷内容があり、合計4条件であった。4つの実験条件の遂行順番は、各被験者に無作為に割り当てられたが、全例を通して実験順序の重複はなかった。

被験者には、brigh empty field(一様視野と訳す)での調節安静位が、約-1Dであると判断された女子学生12例(20.1歳以上20.9歳以下、平均年齢20.7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内のスターバーストの視標を各被験者の遠点より+8Dに相当する遠方の位置から、近点に向かって0.2D/secの等速度で移動させ、その時に得られた記録図を基礎とした。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2)。

全負荷時間の15分の間、負荷開始後の40秒(これを0分とする)と5分後、10分後、15分後にそれぞれ負荷をかけながら40秒間の屈折値の変動を記録した。測定された屈折値の変動曲線から500 points/40 secをA/D変換ボードによって数値化した後、平均算出して各時点での平均値を得た。ここで得られた値を、この論文では静的な調節と定義した。15分間のすべての屈折値の変動を捕えることは理論的に可能であったが、赤外線オプトメーターから眼底に投射される赤外線により、眼球表面の乾燥が危惧されたため、5分毎の測定とした。

統計処理に関しては、0分の値に対して、それぞれ5分と10分、15分の各値を対応のある場合の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。

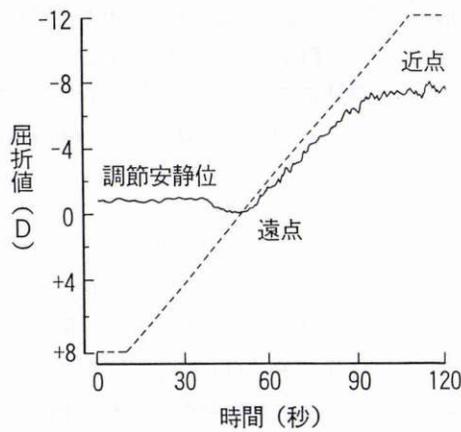


図 2 調節安静位の決定法。

赤外線オプトメーター内の視標を 0.2 D/sec の等速度で +8 D の遠視側から -12 D の近視側まで移動 (被験者: 20.6 歳, 女性, 右眼)。

点線: 赤外線オプトメーター内の視標の移動, 実線: 調節の応答

III 結 果

安静位の内側で負荷を与えた 50 cm の場合での調節の各平均値を表 1 に示す。0 分の値は、両者ともに約 1.7 D と、理論的な調節位置である 2 D よりも少なく調節がなされていた。対照群では、10 分目に 1.86 D と有意な調節の近方へのシフトがみられたが、その後は値が減少し、15 分の時点では 0 分の値に近づく傾向にあり、0 分の値に対する統計的有意差は認められなくなった。Task 群では、5 分目にすでに有意な調節の近方化がみられ、10 分目には 1.97 D、さらに 15 分後には 1.98 D となり、より著しい調節の増強が認められた。いずれの場合ともに、50 cm で定常的な刺激が繰り返し続けられている場合でも、調節は近点側に近づくシフトが認められた。

安静位の外側で負荷を与えた 2 m の場合での調節の平均値を表 2 に示す。0 分の値は、両者ともに約 0.3 D と、50 cm の場合と同じように理論的な調節位置である 0.5 D よりも少なく調節がなされていた。しかし、変化パターンに関しては、50 cm の場合とは全く逆となった。対照群では 5 分目に 0.26 D と調節の遠方へのシフトが示され、量的にはごく僅かな変化であるが、10 分後、15 分後にはそれぞれ 0.28 D ($p < 0.05$)、0.26 D ($p < 0.05$) となり、5 分目には傾向のみであったものが、統計的にも有意な遠方シフトを認めた。Task 群に関しては、いずれの測定時点でも近方へも遠方へも変化を認めなかった。

被験者の安静位内で刺激が与えられた場合、調節の増強は、平均値で 0.1 D 分認められ、変化量は少ないが、5% 以下で有意な近方へのシフトを起こした。ところが逆に、安静位より外側で刺激が与えられた場合、変化量は非常に少ないが、10 分目以降では危険率が 5% 以下で有意な調節の減少が認められ、50 cm でみられた近方へ

表 1 視距離 50 cm で視覚刺激を負荷した場合の静的な調節 (D) の変化。

task 群における著しい近方へのシフト

群	0 分	5 分	10 分	15 分
対照群	1.76 ± .28	1.79 ± .40	1.86 ± .30*	1.80 ± .35
task 群	1.90 ± .30	1.90 ± .41*	1.97 ± .36**	1.98 ± .46**

n=12, *: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$ (0 分の値に対する t-検定)

表 2 視距離 2 m で視覚刺激を負荷した場合の静的な調節 (D) の変化。

対照群での遠方へのシフト

群	0 分	5 分	10 分	15 分
対照群	0.33 ± .08	0.26 ± .21§	0.28 ± .12*	0.26 ± .15*
task 群	0.29 ± .12	0.29 ± .11	0.32 ± .12	0.30 ± .11

n=12, §: $p < 0.1$ *: $p < 0.05$ (0 分の値に対する t-検定)

のシフトとは異なり、逆に遠方へのシフトが認められた。

IV 考 按

調節安静位より内側で視覚刺激が加えられた場合、一定距離の対象をみているにも関わらず、調節は近方へのシフトを起こし増強させられる方向にあった。安静位よりも外側の場合では、計算するという精神的活動の要素が加味された条件 (task 群) では不変の結果であったが、単に視覚刺激が与えられた対照群では、逆に調節の減少が起こり遠方へのシフトを起こした。このことから今回の実験結果は、少なくとも安静位より前方で視覚刺激が加えられた場合の調節への影響と、それよりも後方で与えられた場合での調節に対する影響とは、その在り方に違いのあることが考えられた。

視覚負荷後の残余効果を検討した報告⁹⁾でも、今回の負荷内容と測定項目とに違いがあるものの、安静位の内側で負荷が加わった後には、調節のステップ応答は近方視から遠方視の反応に遅れを認め、安静位の外側で加わった場合には、逆の遠方視から近方視の反応に遅れが認められている。Helmholtz 以来の一元的考え方を当てはめると、遠点より近方の視対象への明視は、Mueller 筋の収縮の量的な差のみで決定される。したがって、調節域内で負荷が加わった場合には、いずれの状態でも Mueller 筋の収縮に起因する影響のみが捕えられ、相反する残余効果を認める現象の解釈は困難である。

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。与えられる負荷が安静位の内側で与えられた場合と外側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それぞれの場合に違いを認めている¹³⁾。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 regression pattern (回復パターンと訳す) 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ことが報告¹⁴⁾されている。DF に関しては、与えられる負荷の視距離の違いによって、変化する方向性に異なる傾向を認める。

Toates の説に従えば、安静位より内側での負荷の間、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い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る方向にある。したがって、安静位の内側で対象を注視している時、何らかの影響が調節系に加わった場合、調節はさらにその方向性を強めて屈折力を増し近方へシフトしたと考えられる。逆に安静位より外側での負荷の場合、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、効果器である毛様体筋においては機能的に近方への調節とは逆の力関係が働いていたとすれば、近方へのシフトより遠方へのシフトが容易であったと考えられる。

しかしながら、2 m での負荷の場合、対照群では静的な調節の遠方シフトが認められたにも関わらず、task 群では遠方への変化も認めなかった。上述した考えが正しければ、2 m での負荷が遠方への調節にあたるため、遠方へのシフトが起こらなければならない。何故 task 群では不変であったのか。今回の実験のような計算をする活動や数字を数える活動、読字作業などのいわゆる精神的活動は、DF に関していえばこれを近方化させることが報告^{13)~16)}されている。

交感・副交感神経の平衡状態を意味する DF が近方化することから、それらの研究者は精神的活動による調節への影響を oculomotor tonus の亢進であると結論づけている。しかし、Malmstrom ら¹⁷⁾や Gawron ら¹⁸⁾によれば、DF が遠点側にシフトする場合もあることから、精神作業の後に起こるこのような DF の変化、これを cognitive induced shift と呼んでいるが、心理的なストレスは、交感・副交感神経の平衡状態を崩壊させることに原因があり、副交感神経への単一の影響ではないとしていた。

これに対してさらに Bullimore¹⁹⁾は、毛様体筋の交感神経支配が主に β レセプターにあること⁵⁾²⁰⁾²¹⁾に着目し、 β ブロッカー剤である timolol maleate 点眼後および対照として生理的食塩水点眼後にそれぞれ計算作業を負荷し、その時の tonic accommodation と DF を測定している。アドレナージックなレセプターがブロックされた場合は当然のこととして、そうでない場合もいずれの条件でも、精神的活動の後には、ともに全く同様の DF の近方化を認めている。このことから、精神的活動による調節のシフトは、副交感神経系への影響がより優位になっているとした。精神的活動は、本質的に調節をコリン作動的な方向へ導くものと考えられる。

本実験の 50 cm での負荷の場合も、計算をするという

精神的活動を加えた場合には、単に刺激を注視した対照群に比べて、著しい静的な調節の近方化を示し、実験的に加えた負荷が調節に対してコリン作動的に働いていたことは明らかである。それにも関わらず、2 m の負荷の場合には無変化であった。ここで Toates のいうように、安静位を境として両神経系の優位さに違いがあると仮定し、また 2 m の条件での対照群の場合での遠方化の実験結果を考え合わせると、本来安静位の外側での負荷の場合、調節は遠方にシフトするべきものが、精神的活動による近方化が起こり、2 m の task 群では差引き無変化の結果となったと考えることが出来る。薬理学的実験結果から、単純に Toates の仮説を支持できないとする報告²²⁾もある。しかし少なくとも、今回の結果が示すように、調節の制御の変極点として、安静位が何らかの重要な意味をもつ可能性を完全に否定できないことが示された。

文 献

- 1) **Cogan DG**: Accommodation and the autonomic nervous system. Arch Ophthalmol 18: 739-766, 1937.
- 2) **Olmsted JMD, Watrous WG**: Sympathetic action in accommodation for far vision. Am J Physiol 128: 588-591, 1940.
- 3) **Biggs RD, Alpern M, Bennett DR**: The effect of sympathetic drugs upon the amplitude of accommodation. Am J Ophthalmol 48: 169-172, 1959.
- 4) **Garner LF, Brown B, Baker R, Colgan M**: The effect of phenylephrine hydrochloride on the resting point of accommodation. Invest Ophthalmol Vis Sci 24: 393-395, 1983.
- 5) **Gilmartin B**: A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation. Ophthalmic Physiol Opt 6: 23-37, 1986.
- 6) **Zetterstrom C**: Effects of adrenergic drugs on accommodation and distant refraction in daylight and darkness. Acta Ophthalmol 66: 58-64, 1988.
- 7) **Toates FM**: Accommodation function of the human eye. Physiol Review 52: 828-863, 1972.
- 8) **土屋邦彦, 青木 繁, 石川 哲**: VDT 作業と調節. 眼科 33: 41-49, 1991.
- 9) **岩崎常人, 秋谷 忍**: 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安静位. 日眼会誌 96: 1268-1273, 1992.
- 10) **鶴飼一彦, 石川 哲**: 調節の準静的特性. 日眼会誌 87: 1428-1434, 1983.
- 11) **Ukai K, Ishii M, Ishikawa S**: A quasi-static of accommodation in amblyopia. Ophthalmic Physiol Opt 6: 287-295, 1986.
- 12) **Iwasaki T**: Effects of a visual task with cognitive demand on dynamic and steady-state accommodation. Ophthalmic Physiol Opt 13: 285-290, 1993.

- 13) **Miller RJ, LeBeau R**: Induced stress, situationally-specific trait anxiety, and dark focus. *Psychophysiology* 19: 260—265, 1982.
- 14) **Tan RK, O'Leary DJ**: Stability of the accommodative dark focus after periods of maintained accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27: 1414—1417, 1986.
- 15) **Bullimore MA, Gilmartin B**: The measurement of adaptation of tonic accommodation under two open-loop conditions. *Ophthalmic Physiol Opt* 9: 72—75, 1989.
- 16) **Owens DA, Wolf-Kelly K**: Near work, visual fatigue, and variations of oculomotor tonus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 743—749, 1987.
- 17) **Malmstrom FV, Randle RJ, Bendix JS, Weber RJ**: The visual accommodation response during concurrent mental activity. *Perception & Psychophysics* 28: 440—448, 1980.
- 18) **Gawron VJ, Paap KR, Malmstrom FV**: The effects of task performance on ocular accommodation and perceived size. *Aviat Space Environ Med* 56: 225—232, 1984.
- 19) **Bullimore MA, Gilmartin B**: Tonic accommodation, cognitive demand, and ciliary muscle innervation. *Am J Optom Physiol Opt* 64: 45—50, 1987.
- 20) **Hurwitz BS, Davidowitz J, Chin NB, Breinin GB**: The effects of the sympathetic nervous system on accommodation. 1. Beta sympathetic nervous system. *Arch Ophthalmol* 87: 668—674, 1972.
- 21) **Gilmartin B, Hogan RE, Thompson SM**: The effect of timolol maleate on tonic accommodation, tonic vergence and pupil diameter. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 25: 763—770, 1984.
- 22) **三輪 隆, 深川和弘, 所 敬**: 交感神経系薬剤の調節安静位に及ぼす影響. *日眼会誌* 92: 1235—1241, 1988.