

調節と輻湊制御系を介した光学的視覚刺激の眼精疲労に対する効果

岩崎 常人¹⁾, 田原 昭彦¹⁾, 三宅 信行²⁾

¹⁾産業医科大学眼科学教室, ²⁾株式会社ニコンコアテクノロジーセンター事業開発部

要 約

目 的：調節と輻湊制御系を介した光学的視覚刺激によって、調節緊張を緩和する装置を試作し、眼精疲労に対する効果について検討した。

方 法：女子学生 8 例に対して、3-D ディスプレイ上で視作業を 20 分間負荷し、その直後に試作した装置による調節・輻湊系に対する光学的刺激を 1.5 分間与えた。光学的刺激方法は、風景画像を被験者のみかけの調節遠点位置近傍で、遠・近に等速度で動かすと同時に眼位の解剖学的安静位方向への開散運動を誘導するように水平に移動させた。視覚負荷前および装置による光学的刺激後、調節ステップ応答および自覚症状調査を行った。対照として、光学的刺激の代わりに 1.5 分間の閉眼安静を与えた(対照群)。

結 果：対照群では、閉眼安静後、平均調節緊張時間は 1.26 秒から 1.62 秒へ、平均調節弛緩時間は 1.49 秒

から 1.63 秒へといずれも延長し、平均近方調節 lag も 0.50 D から 0.65 D へと増大した。また、眼精疲労に関連する自覚的訴えの評定点も増加した。しかし、考案した装置で光学的刺激をした群では、調節時間と調節 lag、自覚症状ともに対照群と比較して有意に変化は少なかった。

結 論：今回試作した装置は、調節と開散方向への刺激をすることで、視覚負荷によって生じる調節機能の低下と自覚症状の悪化を回復させ、眼精疲労に対して改善効果のあることが示唆された。(日眼会誌 110 : 5-12, 2006)

キーワード：調節, 調節緊張症, 眼精疲労, 調節・輻湊制御系へ光学的刺激, 3-D ディスプレイ

Effects of Visual Optical Stimuli for Accommodation-convergence System on Asthenopia

Tsuneto Iwasaki¹⁾, Akihiko Tawara¹⁾ and Nobuyuki Miyake²⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan

²⁾Business Development Center, Nikon Corporation

Abstract

Purpose : We investigated the effect on eyestrain of optical stimuli that we designed for accommodation and convergence systems.

Methods : Eight female students were given optical stimuli for accommodation and convergence systems for 1.5 min immediately after 20 min of a sustained task on a 3-D display. Before and after the trial, their ocular functions were measured and their symptoms were assessed. The optical stimuli were applied by moving targets of scenery images far and near around the far point position of both eyes on a horizontal plane, which induced divergence in the direction of the eye position of rest. In a control group, subjects rested with closed eyes for 1.5 min instead of applying the optical stimuli.

Results : There were significant changes in the accommodative contraction time (from far to near) and the accommodative relaxation time (from near

to far) and the lag of accommodation at near target, from 1.26 s to 1.62 s and from 1.49 s to 1.63 s and from 0.5 D to 0.65 D, respectively, and in the symptoms in the control group after the duration of closed-eye rest. In the stimulus group, however, the changes of those functions were smaller than in the control group.

Conclusion : From these results, we suggest that our designed optical stimuli for accommodation and convergence systems are effective on asthenopia following accommodative dysfunction.

Nippon Ganka Gakkai Zasshi (J Jpn Ophthalmol Soc 110 : 5-12, 2006)

Key words : Accommodation, Accommodative inertia, Accommodation-convergence stimuli, Asthenopia, 3-D display

別刷請求先：807-8555 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 16 年 9 月 30 日受付, 平成 17 年 3 月 16 日改訂受理)

Reprint requests to : Tsuneto Iwasaki, M.D. Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan. 1-1 Iseigaoka Yahatanishi-ku Kitakyushu 807-8555, Japan
(Received September 30, 2004 and accepted in revised form March 16, 2005)

I 緒 言

近年の情報技術 (information technology, IT) の進展は、モバイルコンピュータや携帯電話、インターネット、双方向 BS デジタル放送などの新たな情報通信の普及を促し、従来とは異なる視覚情報の入出力形態や視環境を生んでいる。視環境の変化が、容易に眼精疲労を発症することは古くからいわれており¹⁾、visual display terminal (VDT) 作業の普及によって眼精疲労の問題が大きく取り上げられたように、現在でも IT の進展が眼精疲労の多発を懸念させる。眼精疲労に対する適切な治療方法を探ることは急務である。

眼精疲労の原因は、視機能に関するものでは、屈折異常における未矯正と調節異常、斜位、輻湊異常、融像の不適切、不等像視の 6 つが挙げられている¹⁾。調節機能については、調節不全 (accommodative insufficiency)、調節衰弱 (ill-sustained accommodation)、調節緊張症 (accommodative inertia) は、眼精疲労を容易に発症する調節異常とされる³⁾。近年 VDT 作業では、作業後、毛様体筋がコリン作動的な作用を受けて dark focus の近方化や調節遠点の近方化、また、調節時間や速度が遅れる調節緊張症が多く認められたと報告^{4)~9)}されている。このように、眼精疲労の発症原因の一つは、視作業での調節が酷使されることによる毛様体筋の緊張にある。

著者ら¹⁰⁾は調節の緊張緩和と調節の賦活を目的として光学的な調節刺激装置を考案し、視覚負荷後の眼精疲労の回復効果について検討した。その結果、刺激装置によって調節の緊張緩和が奏功した被験者には眼精疲労の回復効果があり、調節緊張を緩和することが眼精疲労の治療の一つであるとことを証明した。しかし、この装置での調節緊張の緩和効果は、視覚負荷によって緊張を生じた対象の約半分に留まっていた。この装置は、光学的に視標を遠方と近方に移動させることによる調節制御系のみへの刺激であった。そこで今回は、調節制御系への刺激に輻湊・開散制御系への光学的刺激を加え、調節への緊張緩和と賦活をより円滑に行える刺激装置に改良し、視覚負荷を与えた後の眼精疲労の治療効果について検討した。

II 方 法

1. 対 象

今回の実験に影響を与える可能性のある既往歴や疾患のない 19~22 歳 (20.6±1.2 歳、平均値±標準偏差) の女子学生 8 例を対象とした。事前検査におけるオートレフラクトメータ (AR-1100, ニデック) による他覚的屈折値は、-0.64 D~+0.5 D の範囲であった。乱視度数は、いずれの被験者も 0 D~-0.64 D 以内であり、放射状の乱視表でも濃淡を自覚しなかった。赤外線オプ

メータ (AR 3-SV 6, ニデック) による調節検査では、調節ステップ応答および等速度制御応答も良好で、眼位検査は、遮蔽-遮蔽除去試験で、遠見 (5 m) 眼位と近見 (30 cm) 眼位ともに眼位ずれは観察されなかった。すべての被験者は、実験に使用したランダム・ドット・ステレオグラム (random-dots stereogram, RDS) による立体画像をいずれの図形でも複視を生じることなく、明瞭に認識できた。被験者の優位眼の決定には、ホールインカード法を用いた。

2. 調節・輻湊系への光学的刺激方法

本装置は、屈折測定部と視標呈示部および制御部から成る (図 1)。屈折測定部であるオートレフラクトメータ (Speedy-1, Nikon) (以下、オートレフ) には、Badal の光学系に基づいた視標呈示部があり、この光学系内には風景画像 (図 2, 中央の樹木約 4 cd/m², 周辺の空約 40 cd/m², 周辺の畑約 8 cd/m²) が視標として組み込まれている。この視標は、各被験者の屈折度に応じて、遠方から近方へ、また近方から遠方へと、また水平方向の動きを伴いながら移動し、ダイクロイックミラーを介して観察させるシステムである。オートレフと視標呈示部は、コンピュータ (PC: SOLO 5300, Gateway) で接続され、オートレフからの屈折値データに基づいて、視標位置の決定と視標の遠近・水平移動に対する制御がこの PC によって行われる。

視標の移動は、具体的には図 2 に示すように、被験者

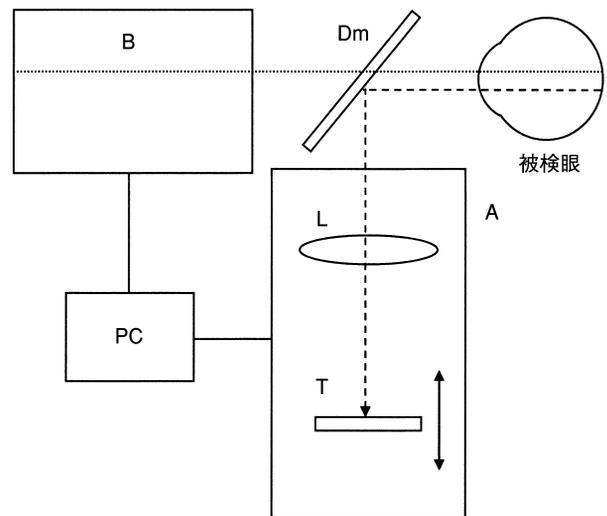


図 1 装置の模式図。

A: 視標呈示部 B: 屈折測定部 (オートレフラクトメータ) Dm: ダイクロイックミラー L: Badal レンズ系 T: 風景視標

----: 可視光: 赤外光

コンピュータ (PC) によって視標呈示部とオートレフラクトメータは接続され、風景視標の遠近移動制御と屈折値の変動処理が行われた。風景視標の注視は両眼視下で、屈折値の測定は片眼 (優位眼) で行われた。

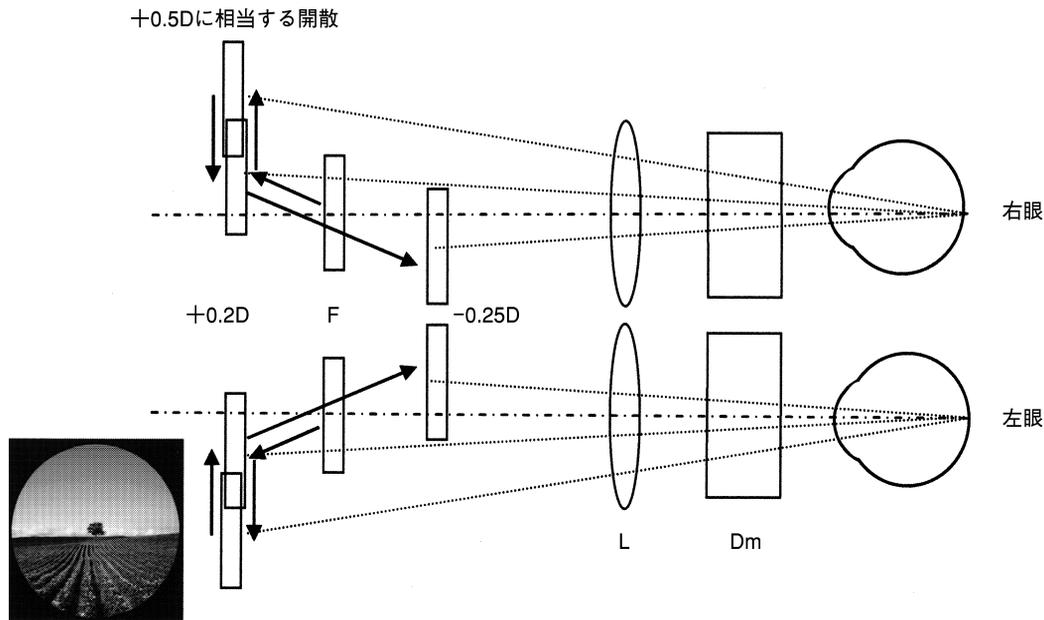


図 2 輻湊・開散刺激を与える視標の動き。

F：見かけの遠点位置 Dm：ダイクロイックミラー L：Badal レンズ系

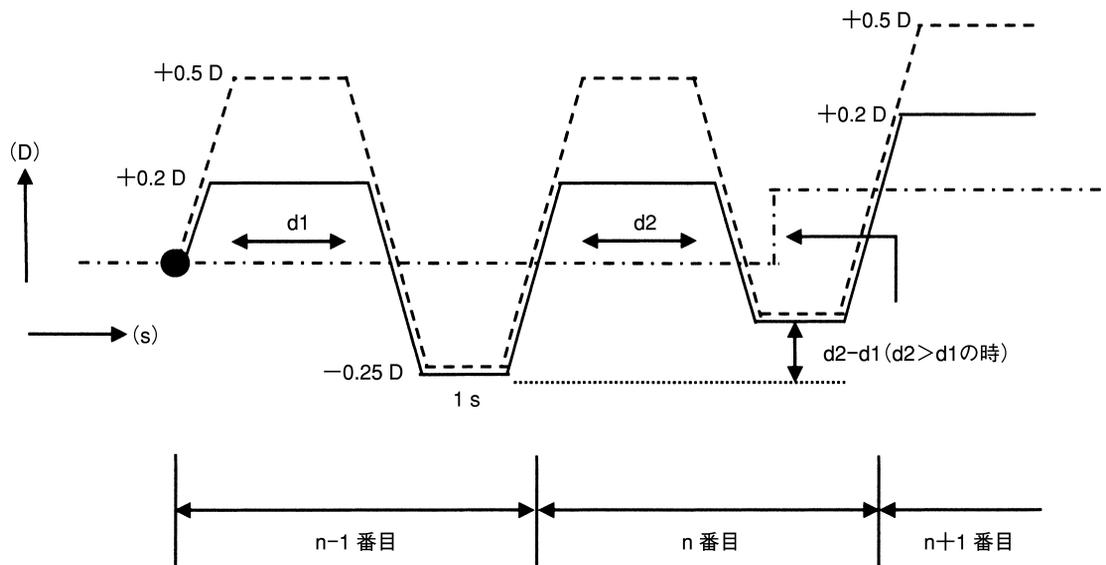


図 3 視標の動作制御原理。

d1, d2：視標が一定時間停止している時の屈折度の中央値
：見かけの遠点位置 ——：遠近方向の動き（調節刺激）
：水平方向の動き（輻湊開散刺激）

の両眼の屈折度から求めた各調節遠点（みかけの遠点）の位置を起点として、 $+0.2\text{ D}$ 遠視側に 0.25 D/s の速度で移動する。同時に両視標は、 $+0.5\text{ D}$ の距離に相当する解剖学的眼位方向に離反移動し（平行位に対して約 1° ），融像下に開散運動が誘導される。視標はその位置で 2 秒間停止した後、遠点に対して -0.25 D 近視側の位置まで、距離に相応した輻湊を随伴させながら移動し、その位置で 1 秒間停止した後、再び同様に前述の起

点とした遠点に戻る。これを 1 周期として、90 秒間調節および輻湊・開散制御系への刺激を与えた。起点における左右眼の視標は、各眼の屈折度測定時にオートレフによって瞳孔間距離が計測され、その距離に応じて設定された。

図 3 に視標の動作制御原理図を示す。視標注視時の屈折度は、オートレフによって 200 ms に 1 回測定されている。視標が、最も遠方で最も開散側に移動したとき、

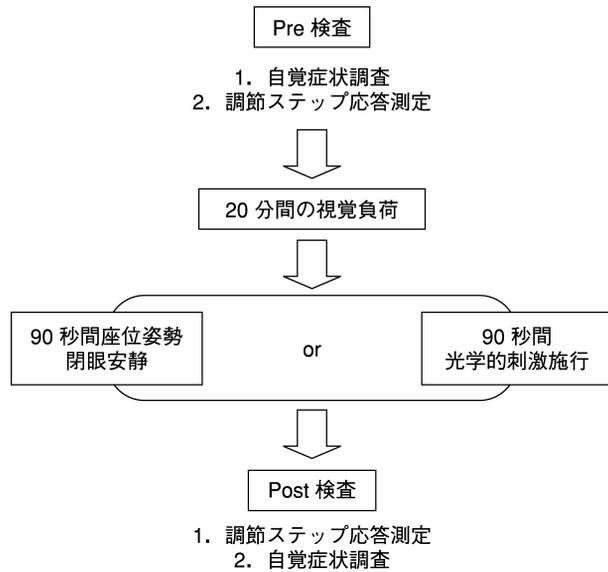


図 4 実験の流れ。

視標の移動を 2 秒間停止させるが、この間の屈折度も測定される。n-1 番目の周期でのこの停止時の屈折度の中央値 d_1 に対して、n 番目の周期でのこの停止時の屈折度 d_2 が、+側に偏位した場合には、n+1 番目の周期では、+の偏位分 ($d_2 - d_1$) を両眼それぞれにフィードバックさせ、調節および開散刺激量を増し、より調節を弛緩させる方向へ刺激した。

3. 実験手順

負荷実験の流れを図 4 に示す。被験者来訪後、休憩室にて座位姿勢で 5 分間の安静を与えた。実験室に入室させ、眼精疲労に関する自覚症状調査に続いて調節ステップ応答測定を行い、これらを負荷前の値とした (Pre 値)。その後、視覚負荷を 20 分間与え、その直後に今回の装置で光学的刺激を 90 秒間与えた。光学的刺激終了と同時に、調節ステップ応答測定ならびに自覚症状調査をこの順で行い、これらの値を負荷後の値とした (Post 値)。対照には、同一の被験者に対して同様の手順で測定・調査および視覚負荷を行ったが、光学的刺激の代わりに、視覚負荷直後その場で座位姿勢をとり閉眼安静を 90 秒間与えた。前者の光学的刺激を行った場合を刺激群と呼び、後者の閉眼安静を与えた場合を対照群と呼ぶ。実験条件は、同一の被験者について光学的刺激と、閉眼安静の 2 通りの条件で実験を行った。1 日に 1 条件を実験し、両条件での実験日時の間隔は 1 日以上とした。実験条件の試行順は、各被験者によって違えられ、順序効果が相殺できるようにした。

4. 視覚負荷

視覚負荷は、明らかに眼疲労の訴えの上昇と、調節機能の低下が認められている以下の方法¹¹⁾によって与えた。パララックス・バリア方式 3-D ディスプレイ (THD-10 PN 3, SANYO) 上でモノクローム RDS を呈示し、

立体像として知覚させた。RDS の図形は、具体的には水平視角を 4.5° とする正円形と正方形、正三角形の 3 種類を用意した。これらの図形を交差性に 1.0° の視差をとり、3-D ディスプレイの中央から近方に飛び出させて知覚させた。3-D ディスプレイと被験者との視距離は 50 cm であった。全負荷時間は 20 分とし、この間 5 秒間隔で正円と正方形、正三角形のいずれか一つの図形を無作為に表示し、被験者に正円形が知覚される毎にマウスをクリックするように指示し作業課題とした。

5. 測定項目

1) 調節

調節機能は、各被験者の優位眼の調節ステップ応答を前述の赤外線オプトメータで測定した。ステップ応答の調節刺激量は 3 D とし、近方視標と遠方視標の呈示時間は、それぞれ 5 秒ずつ交互に各々 5 回の刺激を行った。被験者には、いずれの視標の切り替えに対しても、即座に明視を行い、かつ明視状態の保持を指示した。視標の形状は、オプトメータ内の視角 3° のスターバーストであった。測定時期は、負荷前と負荷が終了し、遠方刺激または対照刺激を 90 秒間行った直後の 2 時点であった。

得られたステップ応答の波形から、調節緊張時間と調節弛緩時間、近方調節 lag、遠方調節 lag の 4 項目を計測した (図 5)。調節緊張時間は、近方視標を呈示した時点から、調節の反応が終了した時点までとし、調節弛緩時間は、遠方視標を呈示した時点から、調節反応が終了する時点までの時間とした。近方調節 lag は、近方視標へ切り替えた時点から 2.5 秒以降、つまり視標呈示時間の後半 2.5 秒分の実際に応答した屈折の平均値と、与えた近方視標の調節刺激位置に対する差を lag として算出した。遠方調節 lag は、遠方視標呈示に対して同様の 2.5 秒間に応答した屈折の平均値と調節刺激位置の差とした。

2) 自覚症状

段階評定法によって眼精疲労に関する自覚症状を調査した¹⁰⁾¹²⁾。自覚症状項目には、眼に関する以下の 6 項目を選定した。

① 眼が疲れる、② 眼が痛い、③ 眼が重い、④ 眼がかすむ、⑤ ものが二重に見える、⑥ 眼が乾く。

段階評定には 5 段階を用い、項目毎の段階数値に、1. 全く感じない、2. やや感じる、3. 感じる、4. やや強く感じる、5. 非常に強く感じる、の意味を有する字句を付記し、現在の状態に適當する段階数値に○を付けさせた。調査は、負荷前の調節測定の前に 1 回と、負荷終了後の光学的刺激または閉眼安静の後に調節測定が終了した後にさらに 1 回行った (図 4)。

6. 統計処理

各測定項目と調査項目とも、Post 値から Pre 値を引いた変化量を両群間で対応のある t 検定にかけた。調節

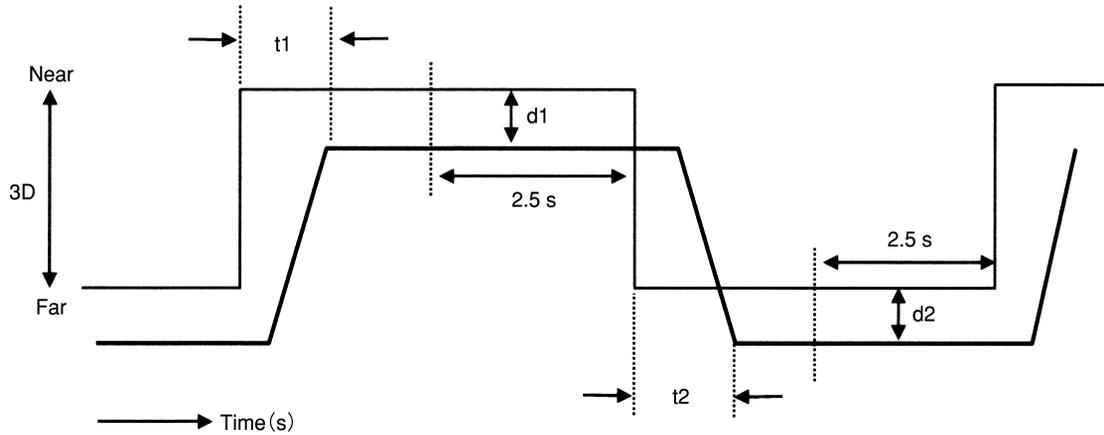


図 5 調節ステップ応答波形の解析。

t1：調節緊張時間 t2：調節弛緩時間 d1：近方調節 lag d2：遠方調節 lag
 細線：遠方・近方視標位置 太線：調節応答波形の模式図

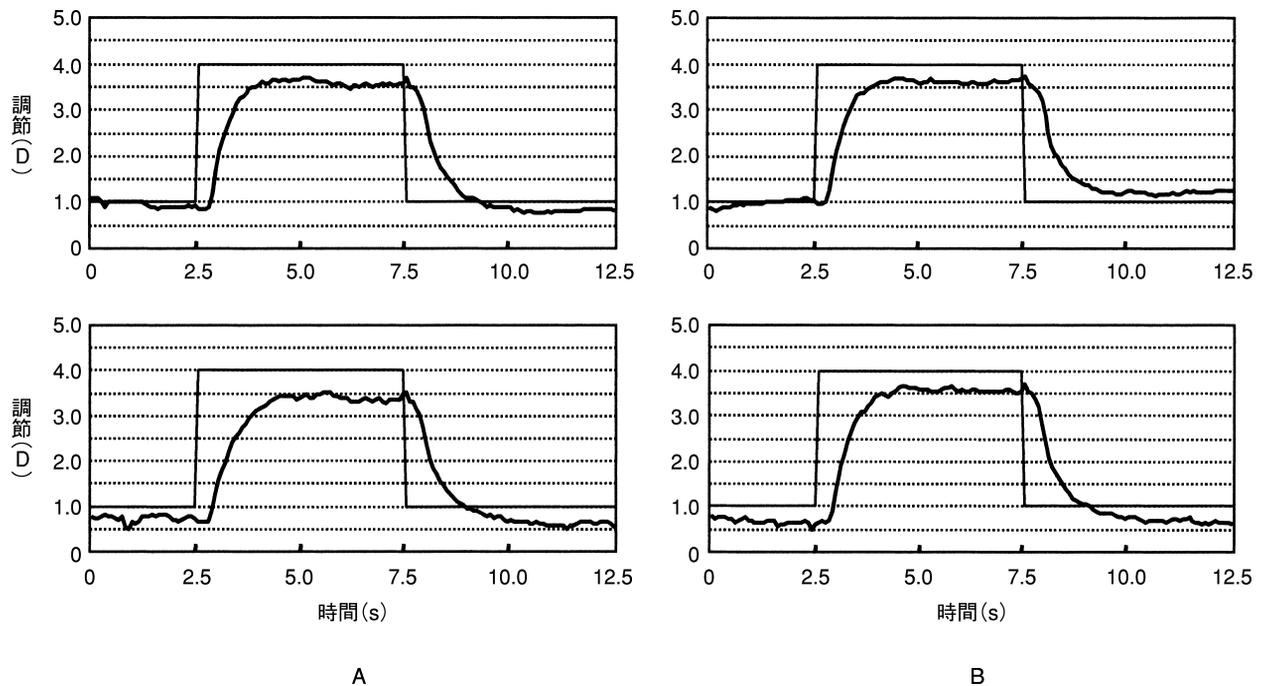


図 6 調節ステップ応答波形。

Pre 検査(上段)と Post 検査(下段)の平均波形(5 波形/1 例×8 例=40 波形)
 A：対照群 B：刺激群
 Post で対照群での調節緊張・弛緩時間の延長と近方調節 lag の増大が刺激群より大。

時間と調節 lag については有意水準を $\alpha=0.05$ とし、自覚症状の評定点については有意水準を $\alpha=0.1$ と定義した。

III 結 果

1. 調節機能の変化

図 6 に調節ステップ応答の Pre と Post での変化を両群について示した。対照群では、Post に調節緊張時間、調節弛緩時間もに延長しているように観察されるが、刺激群では対照群ほどではない。調節 lag に関しては、

遠方調節 lag は両群ともに Post で同じように増大しているようにみえるが、近方調節 lag については、対照群での変化の方が刺激群よりも大であるように観察される。

表 1, 2 に被験者個々の波形から解析した調節緊張・弛緩時間の平均値±標準偏差と調節 lag の平均値±標準偏差を示す。

表 1 に両群での試行前後の調節時間の変化と変化量 (Post 値 - Pre 値) を示す。平均調節緊張時間は、対照群では Pre で 1.26 秒, Post で 1.62 秒, 刺激群では Pre

表 1 両群での調節緊張時間と弛緩時間の変化

群	調節緊張時間 (s)			調節弛緩時間 (s)		
	Pre	Post	$\Delta t1$	Pre	Post	$\Delta t2$
対照	1.26±0.34	1.62±0.44	0.36±0.30	1.49±0.51	1.63±0.51	0.14±0.13
			*1			*2
刺激	1.26±0.29	1.40±0.44	0.14±0.30	1.43±0.55	1.39±0.53	-0.04±0.07

$\Delta t1$: 調節緊張時間の変化量 (Post 値 - Pre 値) $\Delta t2$: 調節弛緩時間の変化量 (Post 値 - Pre 値)
 平均値±標準偏差
 n=8, *1: p=0.0076, *2: p=0.0033

表 2 両群での近方と遠方調節 lag の変化

群	近方調節 lag (D)			遠方調節 lag (D)		
	Pre	Post	$\Delta d1$	Pre	Post	$\Delta d2$
対照	0.50±0.61	0.65±0.56	0.15±0.17	0.16±0.27	0.32±0.27	0.17±0.15
			*1			NS
刺激	0.57±0.71	0.52±0.60	-0.05±0.21	0.15±0.49	0.26±0.32	0.10±0.35

$\Delta d1$: 近方調節 lag の変化量 (Post 値 - Pre 値) $\Delta d2$: 遠方調節 lag の変化量 (Post 値 - Pre 値)
 平均値±標準偏差
 n=8, *1: p=0.0014, NS: 有意差なし

表 3 両群での自覚症状の評定点の変化

上: 自覚症状全 6 項目のうち, 両群で評定点の変化量に差のあった項目
 下: 自覚症状全 6 項目のうち, 両群で評定点の変化量に差のなかった項目

群	眼が疲れる			眼が重い			眼が乾く		
	Pre	Post	Δg	Pre	Post	Δg	Pre	Post	Δg
対照	1.13	2.63	1.50	1.13	2.38	1.25	1.25	2.13	0.88
			*1			*2			*3
刺激	1.13	1.88	0.75	1.38	1.63	0.25	1.50	1.50	0.00

群	眼が痛い			眼がかすむ			二重にみえる		
	Pre	Post	Δg	Pre	Post	Δg	Pre	Post	Δg
対照	1.25	1.25	0.00	1.13	1.13	0.00	1.00	1.00	0.00
			NS			NS			NS
刺激	1.00	1.00	0.00	1.13	1.38	0.25	1.00	1.25	0.25

Δg : 評定点の変化量 (Post 値 - Pre 値)
 平均値
 n=8, *1: p=0.0398, *2: p=0.0606, *3: p=0.0775, NS: 有意差なし

1.26 秒, Post 1.40 秒であった。変化量の平均($\Delta t1$)は, 対照群 0.36 秒と刺激群 0.14 秒で, 対照群が有意に大きく (p=0.0076), 試行後の調節緊張時間が対照群では刺激群に比べて著しく延長した。平均調節弛緩時間については, 対照群では Pre 1.49 秒, Post 1.63 秒で, 刺激群では Pre 1.43 秒, Post 1.39 秒であった。変化量の平均($\Delta t2$)は, 対照群 0.14 秒と刺激群 -0.04 秒となり, 対照群が有意に大きく (p=0.0033), 試行後の調節弛緩時間は対照群の方が刺激群より有意に延長していた。

表 2 に両群での試行前後の調節 lag の変化と変化量 (Post 値 - Pre 値) を示す。平均近方調節 lag について

は, 対照群では Pre で 0.50 D, Post で 0.65 D, 刺激群では Pre 0.57 D, Post 0.52 D であった。変化量の平均 ($\Delta d1$) は, 対照群 0.15 D と刺激群 -0.05 D で, 試行後対照群では刺激群に比べて有意に近方調節 lag が増大した (p=0.0014)。平均遠方調節 lag については, 対照群では Pre 0.16 D, Post 0.32 D で, 刺激群では Pre 0.15 D, Post 0.26 D であった。変化量の平均 ($\Delta d2$) は, 対照群 0.17 D と刺激群 0.10 D となり, 両群での差はなかった (p=0.2795)。

2. 自覚症状の変化

表 3 に両群での試行前後の自覚症状評定点の変化と変化量 (Post 値 - Pre 値) を示す。自覚症状全 6 項目のう

ち、変化量に差を生じた項目は、「眼が疲れる」と「眼が重い」、「眼が乾く」の 3 項目であった。対照群では、「眼が疲れる」の評定点は、Pre 1.13 から Post 2.63 へ上昇し、「眼が重い」は、Pre 1.13 から Post 2.38 へ、「眼が乾く」は Pre 1.25 から Post 2.13 へと上昇した。しかし、刺激群での評定点の上昇は、対照群ほどではなかった。他の 3 項目、「眼が痛い」と「眼がかすむ」、「ものが二重に見える」については、両群ともに試行前後での評定点の変化はなく、両群間での差はなかった。

IV 考 按

刺激群では、調節時間も調節 lag も Post 値と Pre 値の差が対照群より有意に少なく平均値もほとんど変化せず、眼精疲労に関する自覚症状の悪化もみられなかった。今回考案した調節緊張緩和を目的とした光学的視覚刺激装置は、眼精疲労に対して高い治療効果の可能性があると考えられた。

調節障害に起因する眼精疲労の治療には、push-up 法やフリッパー (flipper) 法など、今回のような視標移動にフィードバック制御を使用した精緻な方法ではないが、調節に対する視能訓練がなされる場合がある。Dum¹³⁾は調節不全で眼精疲労を訴える若年者 96 例に対して、push-up 法とフリッパー法の両調節訓練を施行し、その結果、平均調節力が 3 D 増大し、半数に眼精疲労の緩解を認めている。Cooper ら¹⁴⁾の報告では、調節力 5 D 未満の調節不全の眼精疲労患者にフリッパー法を施行した結果、調節力の上昇と調節時間の短縮が認められ、眼精疲労が消退している。

Push-up 法は、固視標を調節近点まで近方移動させ明視努力を行わせることで調節増強を図る方法であり、調節緊張の緩和を目的とした今回我々が考案した装置の調節刺激原理とは逆である。フリッパー法は、通常 40 cm の箇所を固視目標として ± 1.5 D や ± 2.0 D の球面レンズを交互に付加することで、調節増強と調節緩和を交互に誘起し、調節を賦活する方法であり、この方法は今回の我々の方法と類似する面もある。いずれの刺激方法も調節不全に対して生じる眼精疲労に有用であるとする報告である。

近年の眼精疲労の特徴は、VDT 作業の普及やコンピュータ上でのインターネット操作などにより、dark focus の近方化や調節遠点の近方化、調節応答の遅れに代表される、調節の緊張に眼精疲労の原因がある場合が多い^{4)~9)}。また、眼精疲労患者の多くが、遠方視の状態でも調節けいれん様に毛様体筋が働いているとする報告¹⁵⁾もある。さらに、近業に際しての眼精疲労の問題は、一般成人だけに留まらず、小児眼科臨床の場面でも多くみられるようになり、この眼精疲労の原因に調節緊張症 (accommodative inertia) があげられている。

Sternier ら¹⁶⁾は、眼精疲労の自覚症状を有する 9~13 歳までの小児 38 例に対してフリッパー法を施行し、調節応答が促進され調節緊張症が軽減されると、眼精疲労の訴えは消失したことを報告した。このように調節緊張を特徴とする眼精疲労に対しては、調節緊張の緩和または賦活が一つの有効な治療方法である。しかし、フリッパー法は、いずれの場合も非常に長期間の訓練時間を必要としている。

ところで、調節と輻湊のクロスカップリングモデル¹⁷⁾では、日常両眼視での調節と輻湊の相互関係は、融像性輻湊が主体として働き、それに伴う輻湊性調節の制御を調節系が行っているとしている。若倉ら¹⁸⁾は輻湊不全のある眼精疲労患者に融像訓練を施行し、著明な眼精疲労改善を得た。その理由として、彼らはクロスカップリング説を引用して、融像性輻湊が輻湊幅を増強したことに合わせて、融像性輻湊によって誘起された輻湊性調節の存在があるからだとした。また、調節域内でプリズムを基底内方に挿入し開散方向に刺激を与えても、調節がわずかに弛緩する報告¹⁹⁾もあり、輻湊制御系が調節に積極的に作用していることがわかる。これらの報告からすれば、調節に対する制御は、調節制御系に直接働きかける刺激に加えて、輻湊、特に融像性輻湊の刺激が同時に存在すれば、輻湊制御系からの作用が調節系に対してさらに作用し、毛様体筋を弛緩させ調節緊張をより緩和させる方向に誘導すると考えられる。

今回の装置の原理は、被験者の屈折値の測定結果から得た相対的なみかけの遠点位置にまず固視標を設定し、そこを起点として固視標の遠近方向への移動に水平方向の移動が加味され、調節系と輻湊・開散制御系が同時に刺激されている。上述した過去の報告とも一致して、両系を同時に刺激することで、より効果が上がったものと考えられる。また、今回の装置には、輻湊・開散制御系への刺激方法に関して、過去の方法にはない大きな特徴がある。それは、みかけの遠点位置から遠方、つまり調節域外の遠方に固視標が移動した場合に、通常生理的には存在し得ない開散方向に眼位を誘導するために、眼位平行から外側水平方向に固視標を移動させたことである。これによって、装置内の固視標を両眼単一視している限り、眼球は解剖学的眼位方向に離反運動し、輻湊制御系でのいわゆる開散遠点側への刺激によって、調節緊張緩和がより円滑に促されたものと考えられる。

今回は実験的な検討であったため、20 分間の視覚負荷のみであったが、実際の労働環境や生活環境を考えると、視作業は長時間にわたる。この装置の治療効果については、現場での眼精疲労に対する有用性の有無の確認や、また、臨床例での眼精疲労患者に対する有効性の検討なども必要である。

文 献

- 1) **Duke-Elder S, Abrams D** : Eye-strain. In : Duke-Elder S(Ed) : System of Ophthalmology Vol. V. Ophthalmic optics and refraction. CV Mosby, St Louis, 559—578, 1970.
- 2) **鈴木昭弘** : 眼精疲労. 臨床眼科全書第1巻, 大塚任, 他(編) : 金原出版, 東京, 295—320, 1972.
- 3) **Duke-Elder S, Abrams D** : Anomalies of accommodation. In : Duke-Elder S(Ed) : System of Ophthalmology Vol. V. Ophthalmic optics and refraction. CV Mosby, St Louis, 451—486, 1970.
- 4) **Jaschinski-Kruza W** : Visual strain during VDU work : The effect of viewing distance and dark focus. Ergonomics 31 : 1449—1465, 1989.
- 5) **Ishikawa S** : Examination of the near triad in VDU operators. Ergonomics 33 : 787—798, 1990.
- 6) **Iwasaki T** : Effects of a visual task with cognitive demand on dynamic and steady-state accommodation. Ophthalmic Physiol Opt 13 : 285—290, 1993.
- 7) **Saito S, Sotoyama M, Saito S, Taptagaporn, S** : Physiological indices of visual fatigue due to VDT operation : Pupillary reflexes and accommodative responses. Ind Health 32 : 57—66, 1994.
- 8) **Nakamura Y** : Measurement of pupillary unrest in eyestrain. Jpn J Ophthalmol 40 : 533—539, 1996.
- 9) **Piccoli B, Braga M, Zambelli PL, Bergamaschi A** : Viewing distance variation and related ophthalmological changes in office activities with and without VDUs. Ergonomics 39 : 719—728, 1996.
- 10) **Iwasaki T, Tawara A, Miyake N** : Reduction of asthenopia related to accommodative relaxation by means of far point stimuli. Acta Ophthalmol Scan 83 : 81—88, 2005.
- 11) **岩崎常人, 田原昭彦** : パララックス・バリア方式3Dディスプレイによる眼精疲労. あたらしい眼科 17 : 1719—1725, 2000.
- 12) **Feldman JM, Cooper J, Reinstein F, Swiatoca J** : Asthenopia induced by computer-generated fusional vergence targets. Optom Vis Sci 69 : 710—716, 1992.
- 13) **Daum KM** : Accommodative dysfunction. Doc Ophthalmol 55 : 177—198, 1983.
- 14) **Cooper J, Feldman J, Selenow A, Fair R, Buccerio F, MacDonald D, et al** : Reduction of asthenopia after accommodative facility training. Am J Optom Physiol Opt 64 : 430—436, 1987.
- 15) **Kajita M, Ono M, Suzuki S, Kato K** : Accommodative microfluctuation in asthenopia caused by accommodative spasm. Fukushima J Med Sci 47 : 13—20, 2001.
- 16) **Sterner B, Abrahamsson M, Sjöström A** : Accommodative facility training with a long term follow up in a sample of school aged children showing accommodative dysfunction. Doc Ophthalmol 99 : 93—101, 1999.
- 17) **Semmlow JL, Hung G** : Accommodative and fusional components of fixation disparity. Invest Ophthalmol Vis Sci 10 : 1082—1086, 1979.
- 18) **若倉雅登, 三柴恵美子** : 調節・輻輳障害を有する眼精疲労患者に対する融像幅増強訓練の効果. 臨眼 38 : 897—902, 1984.
- 19) **中込真知子, 山下牧子, 三浦真由美, 所 敬** : 融像に伴う調節. 眼臨 84 : 847—850, 1990.