

調節に対する遠方化刺激の眼精疲労への効果

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⁾株式会社ニコン事業開発センター

要 約

目 的：調節に対する光学的な遠方化刺激が、眼精疲労に対して効果があるか否かについて実験的に検討した。

方 法：女子学生 6 例に対して、3-D ディスプレイ上で視作業を 15 分間負荷し、その直後に遠方化刺激を 2 分間与えた。それらの試行前後に調節ステップ応答と屈折度の測定および自覚症状調査を行った。遠方化刺激は、風景画像を被験者の調節遠点位置近傍で、遠・近に等速度で動かした。対照には、遠方化刺激の代わりに風景画像を 0 D の位置に固定した。以上の方法に基づき、同じ実験を 2 回行った。

結 果：第 1 回目の実験では、対照群で調節緊張時間の延長と遠方調節 lag の増加、屈折度の近視化および「眼が疲れる」と「眼が乾く」訴えの上昇があった。しか

し、遠方化刺激群では「眼が疲れる」訴えが上昇したのみであった。第 2 回目の実験では、緊張時間の延長と「眼が疲れる」、「眼が乾く」訴えの上昇があり、両群で差はなかった。遠方化刺激によって遠点は、第 1 回目の実験では有意な変化はなかったが、6 例中 4 例は遠方に偏位し、第 2 回目の実験では有意に近方に偏位した。

結 論：調節に対する遠方化刺激は、遠点を近方化させなければ、視覚負荷による視機能の低下を軽減し、眼精疲労に対して効果があると考えられた。(日眼会誌 106 : 634-641, 2002)

キーワード：調節, 屈折, 眼精疲労, 調節の遠方化刺激, 3-D ディスプレイ

Effects on Eyestrain of Outward Stimuli for Accommodation

Tsuneto Iwasaki¹⁾, Akihiko Tawara¹⁾ and Nobuyuki Miyake²⁾¹⁾Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan²⁾Business Development Center, Nikon Corporation

Abstract

Purpose : We investigated experimentally the effect on eyestrain of outward-shift stimuli for accommodation.

Methods : Six female students fixed optical outward-shift stimuli for accommodation during 2 min immediately after 15 min of a sustained task on a 3-D display. Before and after the trial, their ocular functions were measured and their subjective symptoms were assessed. The outward-shift stimuli were applied by moving the targets of scenery images from far to near and near to far repetitively at around both eyes' far point position. As a control, stationary targets at the position of 0 D were used instead of moving targets. The same experiment was repeated twice for each subject.

Results : In the first experiment, there were significant changes in the accommodative contraction time, the accommodation lag, and the myopic shift, and the subjective symptoms of "eyestrain"

and "eye dryness" in the control group, but in the stimulus group there were only increases of the complaint of "eyestrain". In the second experiment, the changed items were the contraction time and the complaints of "eyestrain" and "eye dryness" in both groups. The outward-shift stimuli caused a tendency in the far point to shift outward in the first experiment, and there was a statistically significant inward shift in the second experiment.

Conclusion : From these results, it is suggested that the outward-shift stimuli for accommodation are effective in relieving eyestrain following the deterioration of ocular functions except when the far point is shifted inward.(J Jpn Ophthalmol Soc 106 : 634-641, 2002)

Key words : Accommodation, Refractive error, Eyestrain, Outward-shift stimulus for accommodation, 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 14 年 4 月 3 日受付, 平成 14 年 5 月 29 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 April 3, 2002 and accepted in revised form May 29, 2002)

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。情報の伝達手段に graphical user interface (GUI) が多用され、高コントラストや色刺激、動画、立体映像などの視覚刺激が増加している。また、モバイルコンピュータや携帯電話などのように、使用場所が動的視覚刺激の混在する電車の中であったり、極端な明所下や暗所下であったりと、作業環境や使用環境が非常に悪化している。さらに、双方向通信による他者からの情報による束縛や規制といった心理的負担の増大も考えられる。環境因子の悪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⁾²⁾、現在でも特に visual display terminal (VDT) 作業の作業環境と眼精疲労との関係については、多くの研究報告^{3)~11)}がある。IT の進展は、視覚に与える刺激をさらに増大させ、眼精疲労の多発を懸念させる。

眼精疲労は自覚症状を主体とした症候群であるが、他覚的所見としては、一般的には調節機能の低下や異常が出現する。VDT 作業では、調節機能の低下の特徴は、調節弛緩時における屈折値の近視化^{12)~16)}や、調節弛緩速度や調節弛緩時間の遅延^{17)~20)}、dark focus (DF) の近方化⁷⁾²¹⁾²²⁾などがあると報告されている。DF の近方化や調節弛緩反応の遅れ、屈折値の近視化にみられる調節遠点の近方化は、調節が過緊張な状態に陥るためであり、その原因はコリン作動的な作用による毛様体筋の異常興奮であると考えられている。また、毛様体筋は自律神経系の支配を受ける^{23)~26)}ため、情動性の精神心理的刺激も調節に影響を及ぼす。メンタルストレスや認知要求 (cognitive demand) などは、調節に対して毛様体筋を緊張させる方向へ作用する^{27)~31)}。これらのことから、眼精疲労の原因の一つには毛様体筋の過度な緊張があげられる。

IT の進展から推測した視環境の変化は、いずれの要因であっても、さらに調節を緊張させ調節遠点を近方化させる方向に作用する可能性があり、そのことが要因となって眼精疲労が多発すると考えられる。そこで、光学的に調節系に対して調節遠点位置近傍で遠方化刺激を与えることが、眼精疲労に対して有用であるか否かについて実験的に検討を行った。視作業として与えた視覚負荷は、近年眼精疲労の報告が多くなされている立体 (3-D) 画像^{32)~38)}とした。

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

表 1 被験者の年齢 (Y) と屈折値 (D) と優位眼

被験者	年齢	右眼	左眼	優位眼
1	19	-0.25	0.62	左
2	19	-1.75	-1.37	右
3	21	-1.00	-0.25	左
4	21	0.00	0.00	右
5	20	-1.62	-1.12	右
6	19	-0.37	-0.62	左

がなく、赤外線オプトメータ (AR3-SV6, ニデック) によって検査された調節ステップ応答が良好であった女子学生 6 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) による他覚的屈折検査の結果と、年齢およびホールインカード (hole-in-card) 法³⁹⁾で得た優位眼を表 1 に示す。乱視度数は、いずれの被験者も 0~-0.5 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。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-dot stereogram, RDS) による立体画像をいずれの図形においても、複視を生じることなく明瞭に認識できた。

2. 調節に対する遠方化刺激の方法

オートレフラクトメータ (Speedy-1, ニコン) の上部に Badal の光学系に基づいた視標呈示システムを設置した (図 1)。この光学系内には、図 2 に示す風景画像 (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おり、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移動でき、眼位は平行位として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。Speedy-1 と視標呈示システムはコンピュータ (PC, SOLO 5300, Gateway) で接続され、Speedy-1 からの屈折値データ処理と視標の遠近移動制御がこの PC によって行われた。

視標呈示システム内の具体的な視標の設定は、まず被験者の両眼の屈折度を Speedy-1 によって求め、調節遠点の位置を決定する。両眼それぞれにおいて、遠点から +0.5 D の位置に視標を置き、2.5 秒間停止させる。その後、遠点に対して -0.5 D 近方に相当する位置まで、0.5 D/s の速度で視標を移動させる。その位置で 1 秒間停止させた後、再び同様の速度で +0.5 D の遠方位置まで移動する。これを 1 周期として、被験者には 2 分間光学系内の視標中央部の樹木を見るように指示した。この間、優位眼の屈折度の変化が 400 ms に 1 回の割合で Speedy-1 によって測定された。視標呈示の n 番目の周期に対して、被験者の屈折度が +側 に偏位した場合には、視標呈示の n+1 番目の周期では、両眼それぞれに + の偏位分を等しく加えて遠方に視標を呈示した。変化のなかった場合、または、一方向への偏位の場合には、そのままの呈示条件を保った。つまり、被験者の屈折度の + 偏位に応じたフィードバックをかけることによ

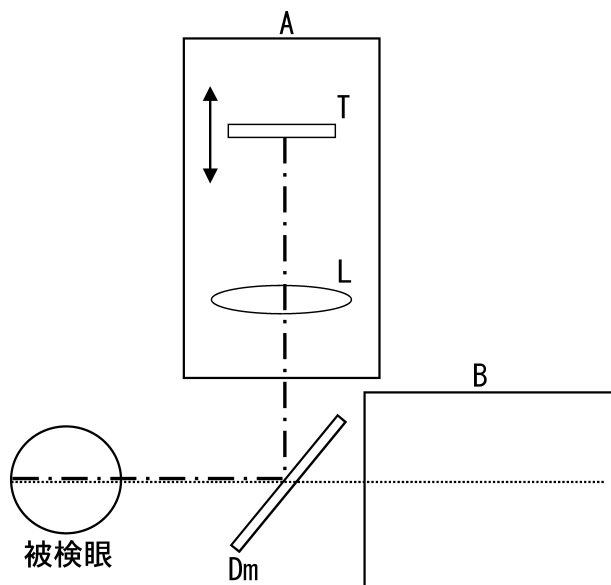


図 1 遠方化刺激呈示系と屈折測定系の模式図。

A：遠方化刺激呈示部，B：オートレフラクトメータ (Speedy-1, ニコン)，T：風景視標，L：レンズ系，Dm：ダイクロイックミラー，—・—：可視光，……：赤外光
コンピュータによって遠方化刺激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。

って，光学的に毛様体筋の緊張を緩解させ，被験者の調節遠点をより遠方化させることを試みた。

3. 実験手順

実験の流れを表 2 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屈折および調節測定を行い，これらを負荷前の値とした (Pre 値)。その後，視覚負荷³⁸⁾を 15 分間与え，その直後に遠方化刺激を 2 分間与えた。遠方化刺激終了と同時に，屈折と調節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 (Post 値) とした。対照には，同様の被験者に対して同様の手順で測定・調査および負荷を行ったが，遠方化刺激は行わずに視標呈示システム内部の風景画像を 0 D の位置に固定し，静止画像として 2 分間注視させた。これを対照刺激と呼ぶ。したがって，実験条件は，同一の被験者について遠方化刺激を行った場合と，視標の移動を行わなかった対照刺激の場合の 2 通りの条件で実験を行った。前者を遠方化刺激群と呼び，後者を対照刺激群と呼ぶ。

実験は，予備実験と本実験を含めて 3 週間行った。第 1 週目は，負荷とした作業課題の遂行と，各視機能検査および自覚症状調査が本実験時に円滑に行われることを目的に，上述した実験手順を一通り体験させ予備実験とした。本実験は，第 2 週目からとした。実験条件が 2 通



図 2 遠方化刺激に用いた風景画像。

視角：32.5°，輝度：中央の木；約 4 cd/m²，周辺の空；約 40 cd/m²，周辺の畑；約 8 cd/m²

表 2 実験の流れ

1. 被験者来訪
2. 休憩室で 5 分間座位姿勢で安静
3. 実験室入室
4. 自覚症状調査
5. 屈折測定
6. 調節測定
視覚負荷開始 ↓ 負荷終了
7. 遠方化刺激または対照刺激を 2 分間注視
8. 屈折測定
9. 調節測定
10. 自覚症状調査

り存在するため，1 例について 1 日に 2 つの条件の実験を行った。今回与えた負荷は，負荷終了直後に明らかに調節機能の低下と疲労自覚症状の上昇があり，かつ，負荷終了後 15 分の安静で調節機能が負荷前へ回復する³⁸⁾ため，両条件での実験の間には，15 分間の安静を与えた。安静は，実験室とは場所が異なる休憩室まで移動させ座位姿勢で与えた。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。第 3 週目は，得られたデータの再現性と実験そのものと視覚負荷に対する慣れの効果を確認する目的で，第 2 週目と同様の実験を行った。第 3 週目の実験は，第 2 週目に行った実験曜日と実験開始時刻，実験終了時刻を同一とし，また，すべての実験日の前日は十分に睡眠を取るよう指示した。解析には，第 1 週目の結果は採用せず，第 2 週目を 1 回目の実験 (1st 実験) 結果とし，第 3 週目

を 2 回目の実験(2nd 実験)結果として、2 条件における比較をそれぞれで行った。

4. 視覚負荷

視覚負荷は、明らかに眼疲労の訴えの上昇と、調節機能の低下がみられている以下の方法³⁸⁾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 PN3, 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。このディスプレイは、画面サイズが 10.4 inch の thin film transistor(TFT)アクティブマトリックス方式による透過型 twisted nematic(TN)液晶パネルで 921,600 の画素をもつ。RDS は、コンピュータ上で Adobe Photoshop Ver. 5.5 によってノイズフィルタ処理(ノイズ量:500, 分布法:均等分布)を施し、3-D ディスプレイ上に呈示した。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、先行する立体像負荷実験³⁸⁾⁴⁰⁾の結果で、15 分の負荷で調節機能の低下を示したので 15 分とした。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、遠方化刺激または対照刺激を 2 分間行った直後の 2 時点であった。

赤外線オプトメータからのアナログ信号は、コンピュータ(PC-9801 BX2, NEC)に送られ、A/D ボードによって 80 ms に 1 回の割合でデジタル信号に変換された。得られたステップ応答の解析は、まず、遠方から近方へと、近方から遠方への各 5 つの波形をコンピュータ上で各々一つの平均波形とした。この平均波形から、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。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^{29)41)~43)}。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) 屈折

屈折値の変化は、オートレフラクトメータ(AR-1100, ニデック)を用いて、負荷の前と遠方化刺激または対照刺激注視直後に各被験者の優位眼で測定した。測定は、各測定の間回数回の瞬目を挟み連続 3 回行った。解析には、3 つの測定値のうち最も屈折の弱いものを使用した。

3) 自覚症状

眼精疲労は眼不定愁訴を主体とした症候群であることから、段階評定法⁴⁴⁾によって眼精疲労に関する自覚症状を調査した。自覚症状項目には、日本産業衛生学会・産業疲労研究会による「新装産業疲労ハンドブック」(労働基準調査会)⁴⁵⁾および鈴村の眼精疲労の鑑別診断用自覚症状項目⁴⁶⁾から、主に眼に関する以下の 15 項目を選定した。

① 眼が疲れる、② 眼が痛い、③ 眼が重い、④ ものがぼやけて見える、⑤ 眼がかすむ、⑥ ものが二重に見える、⑦ 眼が熱い、⑧ 眼が乾く、⑨ 涙がでる、たまる、⑩ 眼がちかちかする、くしゃくしゃする、⑪ 眼がかゆい、⑫ 瞼がびくびくする、⑬ まぶしい、⑭ 色が違って見える、⑮ 頭が痛い。

段階評定には 7 段階を用い、各項目毎に段階数値に 1. 全く感じない、2. かすかに感じる、3. やや感じる、4. 感じる、5. やや強く感じる、6. かなり強く感じる、7. 非常に強く感じる、の意味を有する字句を付記し、自覚的訴えの程度を評価した。自覚症状調査は、言葉による誘導偏倚を避けるため問診形式をとらず、被験者自身によって現在の状態に相当する段階数値に○印を付けさせた。調査は、負荷前の調節と屈折測定の前に 1 回と、負荷終了の後、遠方化刺激または対照刺激後、調節と屈折測定終了後に 1 回行った。

4) 遠方化刺激時の屈折変動

2 分間の遠方化刺激時における被験者の屈折値の変化は、時系列的に記録されるので、得られた 2 分間の屈折値の変化を一次近似曲線として計算した。この近似曲線から、遠方化刺激を開始した時の屈折値(初期値)と 2 分後の最終屈折値(最終値)を算出し、遠方化刺激で変化する各被験者の調節遠点の推移をとらえた。

5) 統計処理

調節緊張・弛緩時間、近方・遠方調節 lag、屈折値、自覚症状ともに Pre の値と Post の値に対して対応のある t 検定(両側)を実施し、危険率 10% 未満を差の傾向がある、危険率 5% 未満を有意差ありと判定した。遠方化刺激による屈折値の変化は、初期値と最終値に対して対応のある t 検定(両側)を行い、同様の基準で判定した。

表 3 1st 実験における調節時間と調節 lag, 屈折値の変化

群	緊張時間(s)		弛緩時間(s)		近方 lag(D)		遠方 lag(D)		屈折値(D)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
遠方化刺激群 (n=6)	0.95 ±0.26	1.09 ^{NS} ±0.44	1.05 ±0.17	1.01 ^{NS} ±0.24	0.92 ±0.31	0.98 ^{NS} ±0.24	0.03 ±0.43	0.09 ^{NS} ±0.45	-0.65 ±0.68	-0.85 ^{NS} ±0.66
対照刺激群 (n=6)	0.93 ±0.25	1.10* ±0.23	1.05 ±0.23	1.18 ^{NS} ±0.22	0.95 ±0.25	0.98 ^{NS} ±0.18	0.13 ±0.41	0.23 [¶] ±0.38	-0.56 ±0.63	-0.74 [¶] ±0.73

Pre: 負荷前の値, Post: 負荷後の値 平均値±標準偏差, ¶: p<0.1 * : p<0.05 ^{NS}: 有意差なし(t 検定)

表 4 1st 実験において評定点の上昇した自覚症状項目と評定点の変化

群	眼が疲れる		眼が乾く	
	Pre	Post	Pre	Post
遠方化刺激群 (n=6)	1.00±0.00	2.33±1.37 [¶]	1.17±0.41	1.50±0.84 ^{NS}
対照刺激群 (n=6)	1.17±0.40	2.50±0.20*	1.00±0.00	1.83±0.75*

平均値±標準偏差, ¶: p<0.1 * : P<0.05 ^{NS}: 有意差なし(t 検定)

表 5 2nd 実験における調節時間と調節 lag, 屈折値の変化

群	緊張時間(s)		弛緩時間(s)		近方 lag(D)		遠方 lag(D)		屈折値(D)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
遠方化刺激群 (n=6)	0.90 ±0.30	1.06 [¶] ±0.27	1.05 ±0.12	1.07 ^{NS} ±0.16	0.91 ±0.31	0.95 ^{NS} ±0.34	0.08 ±0.43	0.14 ^{NS} ±0.51	-0.73 ±0.71	-0.76 ^{NS} ±0.63
対照刺激群 (n=6)	0.83 ±0.20	0.97 [¶] ±0.26	1.03 ±0.14	1.07 ^{NS} ±0.19	0.82 ±0.28	0.88 ^{NS} ±0.27	0.11 ±0.39	0.15 ^{NS} ±0.47	-0.59 ±0.70	-0.85 ^{NS} ±0.69

平均値±標準偏差, ¶: p<0.1 ^{NS}: 有意差なし(t 検定)

III 結 果

1. 1st 実験

1st 実験の調節と屈折に関する結果を表 3 に示し, 自覚症状の結果を表 4 に示す。

1) 調節

調節緊張時間の平均値は, 遠方化刺激群で Pre が 0.95 秒で, Post が 1.09 秒と延長したが, 統計学上は変化がなかった(p=0.145)。しかし, 対照刺激群の場合では, Pre が 0.93 秒, Post が 1.1 秒で有意に延長した(p=0.027)。調節弛緩時間は, 遠方化刺激群では Pre, Post それぞれ 1.05 秒と 1.01 秒, 対照刺激群では 1.05 秒と 1.18 秒であったが, 両群とも有意差はなかった。

近方 lag は, 両群ともに Pre と Post での有意な変化はなかった。遠方 lag は, 遠方化刺激群では差がなかったが(p=0.226), 対照刺激群では Pre が +0.13 D, Post が +0.23 D と, lag が増加する傾向を示した(p=0.080)。

2) 屈折

遠方化刺激群では, Pre が -0.65 D, Post が -0.85 D と平均屈折値は一側に偏位したが有意差はなかった(p=0.162)。対照刺激群では, 同じく -0.56 D が, -0.74 D と, 値の上では遠方化刺激の場合より少ない変化であるが, 統計学的には一側への偏位傾向があった

(p=0.098)。

3) 自覚症状

全 15 自覚症状項目のうち, Post で評定点が上昇した項目は 2 項目であり(表 4), 他の 13 項目は Pre と Post での統計学上の差はなかった。

遠方化刺激群で Post に評定点が上昇した項目は, 「眼が疲れる」(p=0.062)のみであった。これに対して対照刺激群では, 「眼が疲れる」(p=0.025)と「眼が乾く」(p=0.042)の 2 項目で評定点の有意な上昇があった。

4) 遠方化刺激時の屈折変化

最終値から初期値を引いた値は, 4 例が +0.14 D, +0.13 D, +0.08 D, +0.04 D と +側に偏位し, 2 例は -0.25 D, -0.11 D と -側に偏位した。6 例の初期値の平均は -0.899 D で, 2 分後の最終値は -0.896 D となり, 統計学的には差がなかった。

2. 2nd 実験

2nd 実験の調節と屈折に関する結果を表 5 に示し, 自覚症状の結果を表 6 に示す。

1) 調節

緊張時間の平均値は, 遠方化刺激群と対照刺激群で Pre の値はそれぞれ 0.90 秒と 0.83 秒であったが, Post ではそれぞれ 1.06 秒と 0.97 秒となり, 両群で延長する

表 6 2nd 実験において評定点の上昇した自覚症状項目と評定点の変化

群	眼が疲れる		眼が乾く	
	Pre	Post	Pre	Post
遠方化刺激群 (n=6)	1.00±0.00	2.67±1.63 [†]	1.00±0.00	2.17±1.17 [†]
対照刺激群 (n=6)	1.00±0.00	2.33±1.51 [†]	1.50±0.83	2.17±1.17*

平均値±標準偏差, [†]: p<0.1 * : p<0.05(t 検定)

傾向を示した(各 p=0.058, p=0.054)。弛緩時間については、両群とも有意な変化はなかった。

近方 lag と遠方 lag は、遠方化刺激群と対照刺激群とも Pre と Post での有意差はなかった。

2) 屈折

遠方化刺激群の場合には、Pre-0.73 D, Post-0.76 D, 対照刺激群では-0.59 D から-0.85 D へと、平均値では一側へ偏位しているがいずれも有意差はなかった。

3) 自覚症状

全 15 自覚症状項目のうち、Post で評定点が上昇した項目は 2 項目であり(表 6)、他の 13 項目は Pre と Post での統計学上の差はなかった。

遠方化刺激群では、「眼が疲れる」と「眼が乾く」訴えの 2 項目で上昇する傾向があり(各 p=0.054, p=0.058)、対照刺激群では、「眼が疲れる」訴えは上昇する傾向があり(p=0.082)、「眼が乾く」訴えは有意な上昇であった(p=0.025)。

4) 遠方化刺激時の屈折変化

最終値から初期値を引いた値は、全例が一側に偏位した(-0.47 D, -0.29 D, -0.20 D, -0.20 D, -0.07 D, -0.06 D)。初期値の平均は-0.979 D であり、最終値は-1.196 D と有意に一側に偏位した(p=0.017)。

IV 考 按

1st 実験において、対照刺激群では、調節緊張時間の延長と遠方視標に対する調節 lag の上昇、屈折の近方化がみられ、自覚症状では「眼が疲れる」と「眼が乾く」訴えの評定点が有意に上昇した。しかし、遠方化刺激群では、いずれの視機能も低下せず、自覚症状に関しても、「眼が疲れる」訴えの上昇は傾向にとどまった。また、「眼が乾く」訴えも上昇しなかった。眼の乾燥感と関連する視機能は涙液であるが、涙液の減少が眼精疲労の原因であるとする報告⁴⁷⁾⁴⁸⁾もある。「眼が乾く」訴えが上昇しなかったことも眼精疲労が軽減した結果の一つであるとするなら、1st 実験の結果から、明らかに遠方化刺激は、視機能の低下および眼精疲労に関する自覚症状の悪化に対して、それらを軽減もしくは抑制する効果があったと考えられる。2nd 実験では、対照刺激群において 1st 実験で変化のあった遠方 lag と屈折値に変化が

なくなり、両群とも調節緊張時間の延長と「眼が疲れる」と「眼が乾く」訴えが上昇し、変化した測定項目に差がなくなった。1st 実験と比較すれば、両群での著しい差はなくなった。

1st 実験と 2nd 実験とで結果に差が生じた原因として、次の 3 つのことが考えられる。1 つは、同様の被験者と手順で実験が遂行されているが、1 回目と 2 回目には 1 週間の時間経過があり、実験の再現性の問題である。2 つ目は、予備実験から数えると 2nd 実験終了まで同様の視覚負荷が 5 回繰り返されており、負荷に対する慣れの影響である。3 つ目は、遠方化刺激が当初の目的に合致していたか否かの問題である。

再現性に問題があれば、両実験の結果に差を生じる。視機能については、1st 実験で変化のなかった、調節弛緩時間と近方調節 lag が、新たに 2nd 実験で変化するというはなかった。また、1st 実験で変化した調節緊張時間は 2nd 実験でも変化しており、さらに、変化する方向性は短縮することなく延長して同じであった。自覚症状についても、同様の 2 つの症状だけが変化し、2nd 実験で別に新たな自覚症状が変化することはなかった。これらのことからすれば、この実験系の再現性には問題がなかったといえる。

次に、負荷に対する慣れの問題である。1st 実験における対照刺激群で低下する傾向にあった遠方調節 lag と近方化した屈折値については、2nd 実験では変化がみられていない。また、1st 実験では、明らかに有意な延長を示した調節緊張時間は、2nd 実験では傾向ある延長へと有意水準のレベルが下がった。自覚症状の「眼が疲れる」においても、1st 実験で有意な上昇であったものが、2nd 実験では傾向ある差に転じた。Cathode ray tube(CRT)画面で計算作業を視覚負荷として、調節への影響を検討した実験がある²⁹⁾。これは呈示画面までの自己中心距離を 50 cm とし、15 分間の負荷を 15 分間の休息を挟んで 4 回同様に繰り返した時の steady-state accommodation の変化をとらえている。3 回目までは steady-state accommodation は、近方へ有意にシフトし負荷の影響を受ける。ところが、4 回目では変化は全くなっている。視覚負荷が繰り返されると、ある程度の強度以内の負荷であれば、調節は負荷に対する慣れの効果を生じ適応現象を起こすと考えられる。今回の実

験では、負荷内容が異なり単純に比較はできないが、1st 実験で低下を示した項目が、2nd 実験では低下する程度を減じたことや、2nd 実験で 1st 実験とは異なる新たな測定項目に変化がなかったことから、与えた負荷に対する慣れの効果が生じた結果であると考えられる。適応現象がみられない場合に生じる調節の低下量が、慣れによって減じられる調節の低下量に等しく、かつ遠方化刺激がこの低下量と同じ抑制効果を有しているなら、両群間に差は生じないことになる。

最後に、1st 実験と 2nd 実験とで遠方化刺激時の屈折変化に差があり、2nd 実験で遠方化刺激に不適切であった可能性がある。遠方化刺激は、調節に対して遠点位置を中心にフィードバックをかけながら、調節遠点を遠方化させ毛様体筋の緊張を緩和することが本来の目的である。1st 実験では、遠方化刺激を注視し始めた初期の屈折値と、2分後の最終屈折値に有意差はないが、6例のうち4例は+側に偏位し遠点は遠方化していた(結果の 1. 4)。ところが、2nd 実験では、全例が-側に偏位し遠点は近方化して本来の目的とは逆になった(結果の 2. 4)。視覚負荷を与える前に中枢性筋弛緩剤である塩酸エペリゾン(eperisone HCl)を投与した実験⁴⁹⁾⁵⁰⁾では、その薬剤の投与によって、負荷後の毛様体筋の緊張に由来すると考えられる調節弛緩時間の延長が減少し、眼精疲労の自覚症状が改善している。また、眼精疲労を自覚する VDT 作業者に副交感神経抑制剤であるシクロペントラート(cyclopentolate HCl)の低濃度点眼が有効であるとの報告⁵¹⁾⁵²⁾があり、毛様体筋の緊張の緩和は眼精疲労に効果がある。2nd 実験において、両群での差が 1st 実験ほど顕著でなかった原因は、調節が逆に緊張してしまった結果であると考えられる。

遠方化刺激が 1st 実験のように全例の調節遠点を近方化させなかった場合には、視覚負荷後の視機能低下は全くなく、自覚症状もわずかに「眼が疲れる」訴えに上昇の傾向が示されたのみであった。光学的に与えられた遠方化刺激が、視覚負荷によって緊張した調節を適切に弛緩させることができれば、遠方化刺激は調節機能低下に原因する眼精疲労に対して効果的である可能性を推定している。

如何に円滑に遠点を近方化させずに遠方化させるかというこの点は、今後の遠方化刺激の呈示条件として検討しなければならない重要な課題である。また、今回は実験的な検討であったため、15分間の負荷のみであったが、現実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。実際の臨床例での眼精疲労患者に対して、果たして遠方化刺激が2分間だけで効果的であるかといった問題も残されている。さらに、2分間に与える刺激の種類も遠方化刺激に替わり、雲霧や視覚刺激のない安静閉眼時での動態などとの比較も今後の検討課題である。

文 献

- 1) **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, 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) **垂水公男, 長見まき子, 門脇一郎** : VDT 作業者の自覚症状に影響する要因の検討. 産業医学 32 : 77—88, 1990.
- 4) **Horowitz L, Sarkin JM** : Video display terminal operation : A potential risk in the etiology and maintenance of temporomandibular disorders. Cranio 10 : 43—50, 1992.
- 5) **Gur S, Ron S, Heicklen-Klein A** : Objective evaluation of visual fatigue in VDU workers. Occup Med (Lond) 44 : 201—204, 1994.
- 6) **Eichenbaum JW** : Computers and eyestrain. J Ophthalmic Nurs Technol 15 : 23—26, 1996.
- 7) **高橋 誠** : インターレーススキャン・テレビとノンインターレーススキャン・テレビとの視覚疲労の比較. 労働科学 74 : 219—228, 1998.
- 8) **Jaschinski W, Heuer H, Kylian H** : Preferred position of visual displays relative to the eyes : A field study of visual strain and individual differences. Ergonomics 41 : 1034—1049, 1998.
- 9) **高橋 誠** : 液晶ディスプレイの反射グレア低減による視覚疲労軽減効果. 労働科学 75 : 373—381, 1999.
- 10) **Wolska A, Switula M** : Luminance of the surround and visual fatigue of VDT operators. Int J Occup Saf Ergon 5 : 553—581, 1999.
- 11) **Mocci F, Serra A, Corrias GA** : Psychological factors and visual fatigue in working with video display terminals. Occup Environ Med 58 : 267—271, 2001.
- 12) **近江源次郎, 木下 茂, 大路正人, 岡本仁史** : 調節弛緩状態における屈折値の変動. 日眼会誌 92 : 1854—1858, 1988.
- 13) **西山文子** : VDT 作業が調節機能に及ぼす影響について. 日眼会誌 96 : 209—216, 1992.
- 14) **小島良宏, 青木 繁, 石川 哲** : VDT 従事者における近見反応. 北里医学 22 : 620—626, 1992.
- 15) **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.
- 16) **不二門尚** : 視覚情報処理機構からみた眼精疲労—3D 映像視聴の影響を中心に—. あたらしい眼科 14 : 1295—1299, 1997.
- 17) **土屋邦彦, 青木 繁, 石川 哲, 鶴飼一彦, 伊藤幸江, 岸田千穂子** : VDT 作業による調節安静位の変動と自律神経機能について. 日本の眼科 61 : 1322—1324, 1990.
- 18) **土屋邦彦, 青木 繁, 石川 哲** : VDT 作業と調節. 眼科 33 : 41—49, 1991.
- 19) **須田雄三** : Visual display terminal 作業と視機能に

- ついて—調節系への影響を中心として—。獨協医誌 11 : 285—298, 1996.
- 20) 植竹篤志, 大塚美保, 高澤要介, 村田厚生 : VDT 作用時の視覚疲労の評価に関する研究。電子情報通信学会論文誌 J 83-A : 1512—1529, 2000.
- 21) Nakamura Y : Measurement of pupillary unrest in eyestrain. *Jpn J Ophthalmol* 40 : 533—539, 1996.
- 22) Andre JT, Owens DA : Predicting optimal accommodative performance from measures of the dark focus of accommodation. *Hum Factors* 41 : 139—145, 1999.
- 23) Gilmartin B, Bullimore MA, Rosenfield M, Winn B, Owens H : Pharmacological effects on accommodative adaptation. *Optom Vis Sci* 69 : 276—282, 1992.
- 24) Tamm ER, Flugel-Koch C, Mayer B, Lutjen-Drecoll E : Nerve cells in the human ciliary muscle : Ultrastructural and immunocytochemical characterization. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 36 : 414—426, 1995.
- 25) 所 敬 : 弱度近視の発生機序とその治療の可能性。日眼会誌 102 : 796—812, 1998.
- 26) Culhane HM, Winn B, Gilmartin B : Human dynamic closed-loop accommodation augmented by sympathetic inhibition. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40 : 1137—1143, 1999.
- 27) Rosenfield M, Ciuffreda KJ : Proximal and cognitively-induced accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 10 : 252—256, 1990.
- 28) Bullimore MA, Gilmartin B, Royston JM : Steady-state accommodation and ocular biometry in late-onset myopia. *Doc Ophthalmol* 80 : 143—155, 1992.
- 29) Iwasaki T : Effects of a visual task with cognitive demand on dynamic and steady-state accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 13 : 285—290, 1993.
- 30) Wolffsohn JS, McBrien NA, Edgar GK, Stout T : The influence of cognition and age on accommodation, detection rate and response times when using a car head-up display (HUD). *Ophthalmic Physiol Opt* 18 : 243—253, 1998.
- 31) Wolffsohn JS, Edgar GK, Stone HE, Williams M, McBrien NA : Does over-accommodation occur when using aircraft head-up displays? *Aviat Space Environ Med* 70 : 666—673, 1999.
- 32) Feldman JM, Cooper J, Reinstein F, Swiatoca J : Asthenopia induced by computer-generated fusional vergence targets. *Optom Vis Sci* 69 : 710—716, 1992.
- 33) Mon-Williams M, Wann JP, Rushton S : Binocular vision in a virtual world : Visual deficits following the wearing of a head-mounted display. *Ophthalmic Physiol Opt* 13 : 387—391, 1993.
- 34) Wann JP, Rushton S, Mon-Williams M : Natural problems for stereoscopic depth perception in virtual environments. *Vision Res* 35 : 2731—2736, 1995.
- 35) 細島 淳, 近江源次郎, 不二門尚, 安東孝久, 小山田健二, 金谷経一 : 3D 映像の瞳孔に与える影響—眼位との関係—。あたらしい眼科 14 : 947—952, 1997.
- 36) 不二門尚 : 三次元画像と眼, 眼精疲労。眼科 40 : 179—185, 1998.
- 37) Morse SE, Jiang BC : Oculomotor function after virtual reality use differentiates symptomatic from asymptomatic individuals. *Optom Vis Sci* 76 : 637—642, 1999.
- 38) 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.
- 39) Walls GL : A theory of ocular dominance. *Arch Ophthalmol* 45 : 387—412, 1951.
- 40) 岩崎常人, 秋谷 忍, 野呂影勇, 鳥居塚崇 : 仮想現実の視機能への影響と眼科学的考察。ヒューマンサイエンス 8 : 87—94, 1995.
- 41) Tucker J, Charman WN : Reaction and response times for accommodation. *Am J Optom Physiol Opt* 56 : 490—503, 1979.
- 42) Iwasaki T, Kurimoto S : Eye-strain and changes in accommodation of the eye and in visual evoked potential following quantified visual load. *Ergonomics* 31 : 1743—1751, 1988.
- 43) Culhane HM, Winn B : Dynamic accommodation and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40 : 1968—1974, 1999.
- 44) 吉竹 博 : 疲労自覚症状と全体的な疲労感の関係。産業疲労—自覚症状からのアプローチ—。労働科学研究所, 神奈川, 109—131, 1981.
- 45) 日本産業衛生学会・産業疲労研究会 : 新装産業疲労ハンドブック (労働基準調査会)。362—363, 1995.
- 46) 鈴木昭弘 : 眼疲労。眼科 23 : 799—804, 1981.
- 47) Toda I, Fujishima H, Tsubota K : Ocular fatigue is the major symptom of dry eye. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 71 : 347—352, 1993.
- 48) Nakaishi H, Yamada Y : Abnormal tear dynamics and symptoms of eyestrain in operators of visual display terminals. *Occup Environ Med* 56 : 6—9, 1999.
- 49) Iwasaki T, Kurimoto S, Yamamoto S : Eperisone hydrochloride in subjective improvement of eye-strain in VDT use. In : Asfour SS (Ed) : Trends In Ergonomics/Human factors IV. North-Holland, 153—162, 1987.
- 50) 岩崎常人, 栗本晋二 : 塩酸エペリゾンの調節機能に及ぼす影響と眼精疲労への効果。日眼会誌 91 : 740—746, 1987.
- 51) 近江源次郎, 木下裕光, 木下 茂 : 塩酸シクロペントラート単回点眼の調節・瞳孔におよぼす影響について。日眼会誌 95 : 1099—1104, 1991.
- 52) 木下 茂 : 屈折・調節の基礎と臨床—調節障害の病態と治療—。日眼会誌 98 : 1256—1268, 1994.