

## 三次元ディスプレイを用いた視覚負荷による眼精疲労 —矯正方法における違い—

岩崎 常人, 田原 昭彦

産業医科大学眼科学教室

### 要 約

**目的:** パララックス・バリア方式 3-D ディスプレイ上で、立体像を視覚負荷として与えた時の眼精疲労について矯正方法別に検討した。

**方法:** 裸眼ならびに眼鏡とハードコンタクトレンズ(HCL)およびソフトコンタクトレンズ(SCL)で矯正した群の合計 41 例に対して、ランダム・ドット・ステレオグラムによる立体像を視覚負荷として 15 分間与えた。負荷前と負荷直後、負荷終了安静 15 分後および安静 30 分後に、アコモドポリレコーダによって調節近点距離と調節緊張・弛緩時間の測定と、7 段階評定法による眼に関する自覚症状の調査を行った。

**結果:** 負荷直後、調節近点距離は裸眼と SCL 群で、調節緊張時間と弛緩時間は裸眼と HCL および SCL の各群においていずれも有意に延長した。眼鏡群では近点距離と調節緊張時間、弛緩時間のいずれにおいても

有意な変化はなかった。安静後は、どの測定項目も負荷前の値に回復した。自覚症状に関しては、負荷直後、評定点の上昇した項目は、裸眼と HCL および SCL 群では「眼が疲れる」、「眼が重い」、「眼がかすむ」、「眼が乾く」、「眼がちかちかする・くしゃくしゃする」であった。眼鏡群では、「眼がかすむ」と「眼が乾く」については有意な変化はなかった。

**結論:** これらのことから、裸眼またはコンタクトレンズ装用時での視覚負荷の影響に比べて、眼鏡装用時での負荷の影響は少なかった。(日眼会誌 106: 404-410, 2002)

**キーワード:** 眼精疲労, 調節, 自覚症状, 矯正方法, パララックス・バリア方式 3-D ディスプレイ

## Eyestrain Induced by Stereogram on 3-D Display —Differences between Types of Correction—

Tsuneto Iwasaki and Akihiko Tawara

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

### Abstract

**Purpose:** We investigated eyestrain in normal subjects induced by gazing at a random-dot stereogram on a parallax barrier system 3-D display.

**Methods:** The 41 subjects were divided into 4 groups according to the type of correction. Near point of accommodation, accommodative relaxation, and contraction times were measured with an accommodo-polyrecorder before and after a stereoscopic visual load, and 15 min and 30 min after a rest. The subjective symptoms were assessed by a 7-point rating questionnaire at the same time as the measurements.

**Results:** After 15 min of sustained visual load, the near point of accommodation was prolonged significantly in the groups without correction and with soft contact lenses (SCL), and accommodative contraction and relaxation times were significant delayed in the groups without correction, with hard contact lenses (HCL), and with SCL but not in the group with spectacles. These changed values of

accommodation returned to their previous value following the rest. Significant increase in the rating questionnaire was found in the subjective symptoms of "eyestrain", "eye heaviness", "clouding", "eye dryness" and "irritation of eyes" after loading in the groups without correction, with HCL, and with SCL. In the spectacle group, there was no significant change in the subjective symptoms of "clouding" and "eye dryness".

**Conclusion:** From these results, it is concluded that gazing at stereoscopic images on the parallax barrier system 3-D display causes severer eyestrain in cases of correction with contact lenses and in uncorrected cases than in cases with spectacles.

(J Jpn Ophthalmol Soc 106: 404-410, 2002)

**Key words:** Eyestrain, Accommodation, A type of correction, Subjective symptoms, Parallax barrier system 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 13 年 4 月 9 日受付, 平成 14 年 2 月 8 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 9, 2001 and accepted in revised form February 8, 2002)

## I 緒 言

立体映像は奥行きを有するので、虚像でありながら現実の空間に近い表示が可能である。そのため、産業の現場では立体設計の computer aided design (CAD) システムや、遠隔操作における円滑な作業遂行の手段として、また、一般的な娯楽としてはテレビ用のゲーム機に使用されている。臨床においても手術用のシミュレーションビデオに利用されたり、眼底像の立体的観察に応用されている。

立体映像の再生原理の上からは、レーザー光を利用するホログラフィ方式以外のアナグリフ方式や偏光フィルタ方式、レンチキュラ方式、パララックス・バリア方式では、いずれも人為的に両眼視差を強要する<sup>1)2)</sup>。その結果、視機能動態においては調節と輻湊との相互関係に変調を来すと考えられており<sup>3)~5)</sup>、立体映像の鑑賞が視機能へ及ぼす影響や、眼精疲労に関する研究がなされている<sup>6)~26)</sup>。

我々は先に、パララックス・バリア方式 3-D ディスプレイを用いた立体像の 15 分間の負荷によって、種々の眼に関する自覚症状の発現と、調節近点距離と調節緊張・弛緩時間の延長が誘起されることを報告<sup>27)</sup>した。パララックス・バリア方式は、二眼式表示方式の中でも、レンチキュラ方式と同様に液晶シャッターなどの付帯する眼鏡を使用しない。その分、視覚に与える負担は少ないと予測した。しかし、15 分という短時間の負荷で、自覚症状の発現と調節機能の低下から、本方式は眼精疲労の誘発効果が高いと結論した。

本論文では、パララックス・バリア方式によって再生された立体像を負荷した時の眼精疲労について、さらに詳細な検討を加えるために、矯正方法の違いによる影響の差に関する分析を試みた。

## II 方 法

### 1. 対 象

この実験に影響を与える可能性のある既往歴や疾患がなく、両眼とも裸眼または本人所持の眼鏡やコンタクトレンズを使用した 5 m 視力が 1.0 以上で、アコモダポリレコーダによって検査された調節緊張時間・弛緩時間が、ともに 3 秒以内の 20~24 歳までの健常な男性ボランティア 42 例(平均年齢 21.7 歳)を選択した。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)によるいずれの立体図形(内容は後述)においても、複視を生じることなく明瞭に認識できた。42 例中 1 例(20 歳)については、実験当日感冒によって発熱していたため結果を解析する段階において除外した。これら 41 例の屈折の矯正方法は、矯正なし(裸眼)と眼鏡、ハードコンタクトレンズ(HCL)、ソフトコンタクトレンズ(SCL)の 4 つであっ

た。裸眼群は 13 例(20~24 歳)、眼鏡群は 7 例(21~24 歳)、HCL 群は 10 例(21~24 歳)、SCL 群は 11 例(20~23 歳)であった。

### 2. 視 覚 負 荷

被験者には、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、視覚負荷<sup>27)</sup>を与えた。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(正三角形に関しては底辺の視角を表す)の 3 種類を用意した。これらの図形を 3-D ディスプレイの中央から近方に飛び出させる前方像の場合には交差性に視差をとり、遠方に奥行きをもたせる後方像の場合には同側性に視差をとった。それぞれの視差量は 2.1° とし、3-D ディスプレイと被験者との視距離は 50 cm とした。瞳孔間距離を一律に 64 mm と仮定すれば、理論上、前方像は画面上の背地であるランダム・ドットより 11.3 cm 飛び出した立体像として、また、後方像は画面より 21.4 cm 奥行きをもった立体像として認識されることとなる。

全負荷時間を 15 分と設定し、この間、5 秒間隔で前方像→2-D ランダム・ドット→後方像→2-D ランダム・ドット→前方像、以下同様の順で像の呈示を行った(図 1)。前方像と後方像の呈示順番の時には、上述した 3 種類の図形のうちいずれか 1 つを無作為に表示した。2-D ランダム・ドットの時は、3 種類の図形を呈示せずランダム・ドットのみを 3-D ディスプレイ面に二次元像として表示した。視線が画面上から外れる副次動作を少なくし、与えた映像が確実に視覚負荷となるように、被験者には立体像として正円形が認識される毎にマウスをクリックするように課題を与えた。

### 3. 測 定 項 目

#### 1) 調節近点距離と調節時間

眼精疲労の客観的指標として、アコモダポリレコーダ(HS-9, 興和オプテメド)による調節近点距離と調節時間を測定した<sup>27)</sup>。アコモダポリレコーダは、本来自記眼精疲労計<sup>28)</sup>として眼精疲労の他覚的所見を得る目的で考案されたもので、今回の実験目的に合致する。測定眼は各被験者の優位眼のみとした。優位眼の決定には、ホールインカード(hole-in-card)法<sup>29)</sup>を用いた。

近点距離については、アコモダポリレコーダ内に設定された近方視標を 40 cm の位置から近方に移動させ、明視できなくなったと被験者が判断した時点で手元のボタンを押させ、これを 10 回繰り返す、それらの平均値

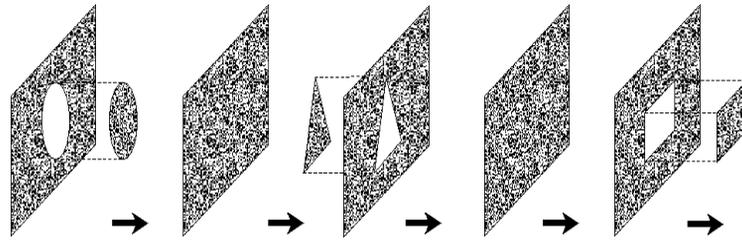


図1 Random-dot stereogram (RDS)による視覚負荷.

例：5秒毎に前方像→2-D ランダム・ドット→後方像→2-D ランダム・ドット→前方像の繰り返し，前方像や後方像の場合は正円形，正方形，正三角形を無作為に呈示。

を算出した。調節時間については、アコモドポリレコーダ内に遠方視標を4mの位置に、また、近方視標を各被験者の近点位置から2cm後方に下げた位置に設定し、遠近両視標を交互に5秒間ずつ呈示し、それぞれ明視できた被験者が判断した時点で手元のボタンを押させた。遠近両視標をそれぞれ10回ずつ呈示し、それらの平均値を算出した。遠方視標から近方視標を明視できた時間を調節緊張時間とし、近方視標から遠方視標を明視できた時間を調節弛緩時間とした。測定時期は、負荷前と負荷終了直後、負荷終了安静15分後、安静30分後の計4回であった。

アコモドポリレコーダによる調節近点距離と調節緊張・弛緩時間は自覚的判断に基づくため、実験日の1週間前と前日に、操作および応答方法を十分に練習させた。前日に得られた各被験者における10回測定値の標準偏差の範囲は、調節近点距離では0.45～0.90cmであり、調節緊張時間は0.073～0.133秒、調節弛緩時間は0.044～0.139秒であった。

## 2) 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<sup>30)</sup>によって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)<sup>31)</sup>および鈴村の眼精疲労の鑑別診断用自覚症状項目<sup>32)</sup>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瞬目がびくびくする、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該当する段階数値に、アンケー

ト形式で○印を付けさせた。調査は、負荷前と負荷終了直後、負荷終了安静15分後、安静30分後の計4回実施した。

## 4. 実験時間割付

上述した視覚負荷方法と調節測定方法および自覚症状調査方法に従い、1日に6例ずつを実験し、実験終了まで計7日間を要した。1日の実験時間の割付を表1に示す。第1例目の開始時刻は午前9時50分とし、以下表1の実験時刻に従い、第6例目の負荷終了安静30分後の調節測定と自覚症状調査が午後12時50分となり、午後1時00分には6例すべてに対する実験は終了した。

## 5. 統計処理

調節近点距離、調節緊張・弛緩時間ならびに自覚症状評定点のいずれの結果についても、負荷前の値の4群間における差は、一元配置分散分析を用い、危険率5%以下を有意性の判断基準とした。また、負荷の後の変化については、負荷前の値に対して負荷直後、負荷終了安静15分後、安静30分後の各値について対応のあるt検定を行い、危険率5%以下を有意性の判断基準とした。

## III 結 果

### 1. 調節近点距離と調節緊張・弛緩時間

各群における調節近点距離の変化を表2に示す。4群における負荷前の値には有意差はなかった( $p>0.6$ )。負荷直後、眼鏡群とHCL群では近点距離は延長する傾向にとどまったが(いずれも $p<0.1$ )、裸眼群とSCL群では有意な延長があった(いずれも $p<0.05$ )。これらの値すべては、負荷終了安静15分後と安静30分後には、負荷前の値に対して有意差がなくなった。

調節緊張時間(表3)については、負荷前値に群間での差はなかったが( $p>0.6$ )、負荷直後、裸眼とHCL、SCLの各群では有意な延長があった(それぞれ $p<0.01$ ,  $p<0.05$ ,  $p<0.005$ )。近点距離の変化と同様に安静15分後と安静30分後の値は、負荷前値と比較して有意差はなくなった。眼鏡群に関しては、負荷直後と安静15分後および安静30分後のいずれの時点においても、負荷前の値と統計的な有意差はなかった。調節弛緩時間(表4)についても緊張時間と同様に、負荷前値に群間で

表 1 1 日の被験者実験時間割付

時刻	1 例目	2 例目	---	6 例目
09:50	負荷前測定・調査			
10:00	3-D 負荷開始			
10:15	負荷終了後測定・調査	負荷前・測定調査		
10:25		3-D 負荷開始		
10:30	安静 15 分後測定・調査			
10:40		負荷後測定・調査		
10:45	安静 30 分後測定・調査			
10:55		安静 15 分後測定・調査		
11:10		安静 30 分後測定・調査		
⋮				
↓				
11:55				負荷前測定・調査
12:05				3-D 負荷開始
12:20				負荷終了後測定・調査
12:35				安静 15 分後測定・調査
12:50				安静 30 分後測定・調査

表 2 各群における調節近点距離(平均値±標準誤差, cm)の変化

群	n	負荷前	負荷後	安静 15 分後	安静 30 分後
裸眼	13	13.0±1.3	14.1±1.6*	12.8±1.4	12.8±1.6
眼鏡	7	11.4±1.4	12.4±1.9 <sup>†</sup>	11.7±1.7	10.7±1.5
HCL	10	11.0±0.6	13.8±2.9 <sup>†</sup>	10.5±0.7	10.4±0.5
SCL	11	12.1±1.0	12.7±0.9*	12.1±0.8	12.1±0.9

HCL:ハードコンタクトレンズ, SCL:ソフトコンタクトレンズ

<sup>†</sup>: p<0.1 \* : p<0.05

表 3 各群における調節緊張時間(平均値±標準誤差, sec)の変化

群	n	負荷前	負荷後	安静 15 分後	安静 30 分後
裸眼	13	1.18±0.11	1.26±0.11**	1.16±0.09	1.17±0.10
眼鏡	7	1.35±0.10	1.34±0.11	1.34±0.09	1.25±0.10
HCL	10	1.32±0.05	1.45±0.05*	1.36±0.06	1.34±0.07
SCL	11	1.38±0.12	1.50±0.08***	1.44±0.13	1.43±0.12

\* : p<0.05 \*\* : p<0.01 \*\*\* : p<0.005

の差はなかったが(p>0.4), 負荷直後, 裸眼と HCL, SCL の群では有意な延長があった。眼鏡群は, 負荷後の統計的な変化はなかった。

## 2. 自覚症状

全 15 項目のうち, 負荷前と負荷直後において, 有意差のあった 5 項目に関する評定点の変化を表 5 に示す。これら 5 項目の負荷前の評定点については, 4 群間における有意差はなかった(「眼が疲れる」に関しては p>0.9, 以下同様に, 「眼が重い」: p>0.6, 「眼がちかちかする・くしゃくしゃする」: p>0.2, 「眼が乾く」: p>0.3, 「眼がかすむ」: p>0.6)。負荷直後有意に上昇した評定点は, 負荷終了安静 15 分後と安静 30 分後には, いずれも負荷前の値と有意差はなくなった。

表 4 各群における調節弛緩時間(平均値±標準誤差, sec)の変化

群	n	負荷前	負荷後	安静 15 分後	安静 30 分後
裸眼	13	1.07±0.13	1.14±0.15*	1.05±0.13	1.06±0.12
眼鏡	7	1.25±0.18	1.28±0.23	1.20±0.15	1.25±0.21
HCL	10	0.96±0.14	1.10±0.15*	0.98±0.16	0.93±0.13
SCL	11	1.19±0.16	1.35±0.19*	1.30±0.19	1.24±0.17

\* : p<0.05

裸眼と HCL および SCL 群において, 負荷直後, 評定点が有意に上昇または上昇する傾向にあった項目は, 「眼が疲れる」と「眼が重い」, 「眼がかすむ」, 「眼が乾く」, 「眼がちかちかする・くしゃくしゃする」の 5 項目すべてであった。しかし, 眼鏡群では, 評定点の上昇した項目は, 「眼が疲れる」と「眼が重い」, 「眼がちかちかする・くしゃくしゃする」の 3 項目であり, 「眼がかすむ」と「眼が乾く」については, 有意な変化はなかった。

## IV 考 按

負荷直後に統計上変化のあった項目を各群についてまとめてみると, 裸眼と HCL, SCL 群では調節近点距離と調節緊張・弛緩時間の延長があり, 「眼が疲れる」と「眼が重い」, 「眼がかすむ」, 「眼が乾く」, 「眼がちかちかする・くしゃくしゃする」の自覚症状 5 項目の評定点が上昇した。一方, 眼鏡群では調節近点距離の延長はあったが, 調節緊張・弛緩時間の延長はなく, 上記 5 項目の自覚症状のうち「眼が乾く」と「眼がかすむ」については, 有意な評定点の上昇はなかった。裸眼やコンタクトレンズ群に比較して, 眼鏡群での変化は少ないことがわかった。

眼精疲労の治療や予防を行うに当たって, 発症原因を究明することは非常に重要である。眼疲労の原因は, ①

表 5 各群における負荷直後に評定点の上昇した項目とその平均値

群	n	「眼が疲れる」		「眼が重い」		「眼がちかちか、くしゃくしゃする」		「眼が乾く」		「眼がかすむ」	
		前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
裸眼	13	1.38	3.07****	1.15	1.46 <sup>¶</sup>	1.30	1.84*	1.07	1.92*	1.07	1.23 <sup>¶</sup>
眼鏡	7	1.42	2.14***	1.00	1.28 <sup>¶</sup>	1.00	1.28 <sup>¶</sup>	1.14	1.28 <sup>NS</sup>	1.00	1.00 <sup>NS</sup>
HCL	10	1.50	3.40****	1.00	1.70 <sup>¶</sup>	1.00	1.20 <sup>¶</sup>	1.50	2.80***	1.10	1.50 <sup>¶</sup>
SCL	11	1.54	2.45*	1.18	1.63***	1.09	1.36 <sup>¶</sup>	1.27	1.65 <sup>¶</sup>	1.00	1.36 <sup>¶</sup>

前：負荷前 後：負荷直後 <sup>¶</sup>：p<0.1 \*：p<0.05 \*\*：p<0.01 \*\*\*：p<0.005 \*\*\*\*：p<0.001

<sup>NS</sup>：有意差なし

眼に異常が存在する場合の視器そのものに原因するもの、②有害光線の有無、照明の不良、騒音の有無、温度や湿度の不適性などの外環境に原因するもの、③全身疾患の有無、夜勤による生体リズムの変調などの身体内部の内環境に原因するもの、④家庭や社会での人間関係、作業のあり方などの心的規制に原因するものなどが考えられ、これらの要因が単独で、あるいは相互に複雑に絡み合い発症するといわれる<sup>33)</sup>。眼鏡群で負荷の影響が少なかった理由について、視機能、特に調節と輻湊の観点からと、外環境に関する要因との二面から考えてみたい。

今回の実験では、個々の被験者についての眼鏡またはコンタクトレンズの矯正度数は検査していないが、被験者の自己申告によって、屈折異常の矯正はすべて近視に対して行われていた。正確な近視度数と矯正度数が不明であれば、コンタクトレンズや眼鏡での視力矯正が適切であったか否かの証明はできない。しかしここでは、矯正視力は全例で1.0以上あり、被験者選択に当たって行われた事前の問診から眼精疲労症状がなかったこと、さらにまた、実験開始時の測定で各負荷前の値に4群間での有意差がなかったことから、眼鏡とコンタクトレンズの矯正ともに適切になされていたと考えられる。

眼鏡やコンタクトレンズで矯正された眼の調節は正視眼の場合と異なり、以下の式<sup>34)</sup>によって算出される。

$$Ax(D) = -X/(1-dK) \{ (1-dK) - d^2 XK \}$$

$x$ ：注視する物体までの距離(m)  $d$ ：眼前(主点)から矯正レンズまでの距離(m)

$K$ ：矯正レンズ度数(D)  $X$ ： $1/x$ ( $x$ は光線の進行方向を正とする)

これに従えば、視距離が50 cmの場合の理論的に必要とされる調節量は、コンタクトレンズの場合は $d=0$ であるため、裸眼と同じく $2D$ であるが、眼鏡ではその値より少なくてすむ。その結果、眼鏡群がコンタクト群や裸眼群に比べて調節への負担は軽く、近点の延長は傾向のみにとどまり、調節時間の有意な延長もなかったと考えられる。

さらに、近方視を行えば調節と同時に輻湊が生じる。眼鏡とコンタクトレンズでは輻湊に対する様相が異なる。

コンタクトレンズは眼球とともに運動するため、視線とレンズの光軸はほぼ一致しているが、眼鏡レンズではレンズの光軸が一定不変のため、視線が動くときとレンズによるプリズム効果が生じる。側方視を行った場合は、レンズ周辺部のプリズム効果は不自然な融像運動によって逆に悪影響を及ぼし、いわゆる筋性眼精疲労<sup>33)</sup>を起こしやすい。ところが、今回の負荷は視距離50 cmで三次元画面の中央を固視させたため、視線はレンズの光学中心を外れ、左右の眼ともに等量に鼻側方向に移動する。両眼の視線は、眼鏡凹レンズの基底内方プリズムとしての作用を受けることとなり、輻湊量はコンタクトレンズや裸眼に比較して眼鏡装用の場合が少ない。両眼視差を与えて立体像を再生した場合は、特に画面より近方に飛び出す前方像を注視した時には、輻湊量は調節量より過剰になされる。基底内方としてのプリズムの作用は、この時に過剰な輻湊を軽減させる効果があったものと推測される。眼鏡装用時における眼への負担は、調節と輻湊の観点からは少なかったと考えられる。

次に、眼鏡群にのみ評定点の上昇しなかった自覚症状項目に、「眼が乾く」と「眼がかすむ」がある。「眼が乾く」訴えは、前眼部の異常が背景となるといわれる<sup>32)</sup>。特に、涙液量の低下が、それらの訴えの主な原因であると考えられる。一般の事務作業(paper作業)に比べて、眼精疲労を多発するvisual display terminal(VDT)作業では、眼の乾燥感を訴える作業者は多く<sup>35)36)</sup>、シルマ法などの客観的測定からも、VDT作業では涙液量の減少がより大であることが報告<sup>37)~40)</sup>されている。また、眼の疲れを訴える患者の58.6%にドライアイがみられた報告<sup>41)</sup>もある。眼疲労を主訴とする患者にとって、眼の乾燥症状を適切な言葉で表現できないために、「眼が疲れる」と訴えている場合が多く、ドライアイの一症状が眼疲労であると報告<sup>42)43)</sup>される。涙液量の低下に伴う眼の乾燥感は、眼精疲労と密接に関係している。

「眼がかすむ」については、調節衰弱や老視眼における調節不全に代表される調節機能の低下にも原因するが、角膜の形態上の変化が生じた場合、例えば高眼圧による伸展や浮腫状変化を来した時にもこの自覚症状を発する<sup>32)</sup>。つまり、この訴えは、光が眼内に入射してくる

初期段階において、光の屈折面に何らかの変化が生じた場合にも発せられる。今回の負荷実験では、角膜における形態上の変化が生じたとは考えにくいので、「眼が乾く」の症状と考え合わせると、「眼がかすむ」訴えも涙液量の低下と関係がある。

涙液量の低下の原因には、産生量そのものの低下かまたは蒸散の増大との 2 つが考えられる。産生量については、長時間の姿勢拘束が起こると、それによって血流障害が生じ上頸部交感神経系の失調を来し涙液分泌が減る<sup>44)</sup>、という報告があるが、今回の実験は 15 分間の負荷であり、長時間の姿勢拘束による分泌能の低下は考えにくい。涙の蒸散の増大については、眼球表面に接する大気の状態と関係する。VDT 作業のようにコンピュータを介する作業では、画面を注視するために瞬目数が減る。例えば、前方視、読書、ワープロ作業、コンピュータゲーム時に起こる単位時間当たりの瞬目数は、その順に従って少なくなる<sup>45)</sup>。これは、実験に用いられる視覚刺激の感覚モダリティが、瞬目回数増減の大きな影響因であり、視覚への課題要求は瞬目回数を減少させる<sup>46)</sup>ためである。今回の視覚負荷には、指定された図形を探索しなければならないという課題要求が含まれており、瞬目回数は減少していたと考えられる。瞬目数の減少は、空気への直接の接触時間を増加させる。

実験時、被検者の負荷位置の後方天井にはエアコンが設置されていた。実験遂行時が 1 月であったため、暖房用の乾燥した空気がエアコンを中心に四方向に吹き出し実験室内に拡散され、人工的な微かな空気の対流が存在していた。もし、この対流が眼球表面に影響していたとすれば、裸眼やコンタクトレンズでは、第一に影響を受けるのは涙液である。涙液層に量的・質的变化が起これば、当然「眼が乾く」という自覚症状の増減につながる。また、本来均一な光の透過面を作る役割を担う涙液層が量的・質的变化によって不正となれば、屈折面に歪みが生じ、光は乱反射を起こし「眼がかすむ」訴えにつながる。15 分間この状況が維持されれば、不正な光の屈折が原因して、不整合な調節の動揺が生じる可能性は十分にある。

眼鏡のレンズが、この空気の流れを遮断する一因であったとすれば、以上のようなことは生じにくく、「眼が乾く」、「眼がかすむ」といった自覚症状や調節への影響も軽減されるものと考えられる。ドライアイ患者に対するカバー付き眼鏡(モイスターエイド<sup>®</sup>)を使用した臨床研究においても、外部の乾燥した空気を遮断することで、ドライアイ症状が改善している<sup>47)</sup>。モイスターエイドは、カバーが付いている点や眼鏡枠に保湿効果を高める工夫がなされていることから、通常の矯正眼鏡での効果とは明らかに異なる。しかし、被検者の前面から暖房用の乾燥した空気が直接当たっていたとすれば、やはり眼鏡のレンズは空気の直接の流れをある程度遮る効果

がある。暖房用の乾燥した空気は、眼鏡群とその他の群での差を生じさせた原因の一つであると推測する。

今回の実験は、パララックス・バリア方式 3-D ディスプレイによる立体像の負荷が、15 分という比較的短時間に、調節機能低下やそれに基づくと考えられる自覚症状の増悪、さらに、自覚症状からする涙液に関する何らかの変化を起こし、眼精疲労を生じさせることを示している。近年、立体映像を眼にする機会は多くあると思われるが、二眼式表示方式を使用した場合、眼精疲労の発症を否定することはできない。しかし、両眼視差を用いて立体像を再生した場合、特に近方に飛び出す前方像を呈示する場合には、輻湊量は調節量よりも過剰になされる。そのインバランスが眼精疲労などの発症原因であるとされる。今回のように凹レンズによる基底内方のプリズム効果は、その過剰に働く輻湊を減弱させる効果があり、調節と輻湊のインバランスを補正できる可能性がある。また、空気の乾燥などによる涙液に影響を及ぼす外環境が適切に改善されれば、両眼視差を人為的に強要する二眼式表示装置を用いて立体映像を鑑賞する場合においても、眼精疲労を軽減し得る可能性を今回の実験結果は示している。

## 文 献

- 1) 広瀬通孝：バーチャルリアリティ。産業図書、東京、121—162、1993。
- 2) 奥山文雄：原理と装置。眼科 40：153—159、1998。
- 3) 渡部 勲、吉田辰夫：眼の調節—輻輳の制御機構—。NHK 技術研究 23：378—396、1971。
- 4) Iwasaki T, Akiya S, Inoue T, Noro K：Surmised state of accommodation to stereoscopic three-dimensional images with binocular disparity. Ergonomics 39：1268—1272、1996。
- 5) 細島 淳、近江源次郎、不二門尚：3D 映像における融像性輻湊の限界。眼臨 90：1534—1538、1996。
- 6) 岩崎常人、秋谷 忍、野呂影勇、鳥居塚崇：バーチャルリアリティに使用される立体像の眼球運動に及ぼす影響。ヒトとシステム 1：37—41、1994。
- 7) 井上哲理、野呂影勇、岩崎常人、大頭 仁：視覚機能から見た立体映像の呈示条件。テレビジョン学会誌 48：1301—1305、1994。
- 8) 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。
- 9) Cho A, Iwasaki T, Noro K：A study on visual characteristics of binocular 3-D images. Ergonomics 39：1285—1293、1996。
- 10) Miyao M, Ishihara S, Saito S, Kondo A, Sakakibara H, Toyoshima H：Visual accommodation and subject performance during a stereographic object task using liquid crystal shutters. Ergonomics 39：1294—1309、1996。
- 11) 大平明彦、落合真紀子：両眼液晶シャッターとハイビジョンテレビを組み合わせた立体画像が視機能

- に与える影響について. 視覚の科学 17 : 131—134, 1996.
- 12) 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.
  - 13) **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.
  - 14) **Kotulak J, Morse S** : Ocular responses with aviator helmet-mounted displays and their relation to in-flight symptoms. *Hum Factors* 37 : 699—710, 1995.
  - 15) **Komachi Y, Miyazaki K, Murata T, Nagata S, Kani K** : Stereopsis with normal and reversed binocular parallax using a head mounted display in normal and strabismic subjects. *Ergonomics* 39 : 1321—1329, 1996.
  - 16) **Hasebe H, Oyamada H, Ukai K, Toda H, Bando T** : Changes in oculomotor functions before and after loading of a 3-D visually-guided task by using a head-mounted display. *Ergonomics* 39 : 1330—1343, 1996.
  - 17) **Kawara T, Ohmi M, Yoshizawa T** : Effects on visual functions during tasks of object handling in virtual environment with a head mounted display. *Ergonomics* 39 : 1370—1380, 1996.
  - 18) 板東武彦, 長谷部日 : ヘッドマウントディスプレイが視覚・眼球運動に与える影響について. 3D 映像 10 : 14—17, 1996.
  - 19) 原 直人, 鶴飼一彦, 石川 哲, 高木峰夫, 板東武彦, 小山田 浩 : ヘッドマウントディスプレイの数時間連続使用による屈折・調節・輻湊機能の変化. 日眼会誌 100 : 535—540, 1996.
  - 20) 井上哲理, 河合隆史, 柴田隆史, 野呂影勇, 岩崎常人 : HMD における立体像の再生位置と視覚負担. 3D 映像 12 : 13—18, 1996.
  - 21) **Mon-Williams M, Plooy A, Burgess-Limerick R** : Gaze angle : A possible mechanism of visual stress in virtual reality headset. *Ergonomics* 41 : 280—285, 1998.
  - 22) **Peli E** : The visual effects of head-mounted display (HMD) are not distinguishable from those of desk-top computer display. *Vision Res* 38 : 2053—2066, 1998.
  - 23) **Howarth PA** : Oculomotor changes within virtual environments. *Appl Ergon* 30 : 59—67, 1998.
  - 24) **Morse SE, Jiang BC** : Oculomotor function after virtual reality use differentiates symptomatic from asymptomatic individuals. *Optom Vis Sci* 76 : 637—642, 1999.
  - 25) **Fujikado T, Hosohata J, Ohmi G, Tano Y** : A clinical evaluation of stereopsis required to see 3-D images. *Ergonomics* 39 : 1315—1320, 1996.
  - 26) 玉木光子, 奥山文雄, 所 敬, 吉井正一, 池田貴司, 小山田健二, 他 : 40 インチ眼鏡なし立体ディスプレイが視機能に与える影響. 視覚の科学 19 : 146—150, 1999.
  - 27) 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 : 1401—1407, 2000.
  - 28) 鈴木昭弘, 谷口正子, 端山久子, 石川みどり : H-S 自記眼精疲労計簡易型の試作とその応用. 臨眼 24 : 201—209, 1970.
  - 29) **Walls GL** : A theory of ocular dominance. *Arch Ophthalmol* 45 : 387—412, 1951.
  - 30) 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.
  - 31) 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). 1995.
  - 32) 鈴木昭弘 : 眼疲労. 眼科 23 : 799—804, 1981.
  - 33) 鈴木昭弘 : 眼精疲労. 臨床眼科全書第 1 巻, 金原出版, 東京, 1972.
  - 34) 平井宏明 : 矯正レンズの光学. 眼光学の基礎. 西信元嗣 (編) : 金原出版, 東京, 43—62, 1991.
  - 35) 渥美一成 : VDT 作業者と眼精疲労. 眼科 33 : 19—26, 1991.
  - 36) 中央労働災害防止協会調査研究部 : VDT 作業の労働衛生管理その現状と問題点—実態調査分析結果を中心—. 中央労働災害防止協会, 東京, 1999.
  - 37) 岩崎常人, 栗本晋二, 大久保享一 : VDT 作業による眼精疲労と涙液産生能との関係. 臨眼 39 : 172—173, 1985.
  - 38) 谷島輝雄, 落合真紀子 : VDT 作業と涙液分泌. 日本の眼科 58 : 866—867, 1987.
  - 39) 渥美一成, 西田祥蔵 : VDT 作業による角膜表面温度の影響. 日本の眼科 59 : 847—848, 1988.
  - 40) 八木沼康之, 山田宏図, 永井 宏 : VDT 作業にともなう涙液量と瞬目数の経時的変化について. 臨眼 42 : 848—849, 1988.
  - 41) 戸田侑子, 藤島 浩, 坪田一男 : ドライアイの主症状としての「疲れ眼」. あたらしい眼科 8 : 1449—1453, 1991.
  - 42) **Toda I, Fujishima H, Tsubota K** : Ocular fatigue is the major symptom of dry eye. *Acta Ophthalmol Copenh* 71 : 347—352, 1993.
  - 43) 濱野 孝 : ドライアイと疲れ目. 眼科 38 : 39—43, 1996.
  - 44) 岩崎和佳子 : VDT 作業者の視機能に及ぼす影響. 眼科 29 : 209—216, 1987.
  - 45) 佐藤直樹, 山田昌和, 坪田一男 : VDT 作業とドライアイとの関係. あたらしい眼科 9 : 2103—2106, 1992.
  - 46) 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介 : まばたきの心理学. 田多英興, 他 (編) : 北大路書房, 京都, 44—67, 1991.
  - 47) 引地泰一, 今田 恵, 吉田晃敏, 坪田一男 : ドライアイ患者に対する外部環境の改善策—カバー付き眼鏡の有用性. あたらしい眼科 9 : 1909—1911, 1992.