

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

原 直人¹⁾²⁾, 鞆飼 一彦¹⁾, 石川 哲¹⁾, 高木 峰夫²⁾, 板東 武彦³⁾, 小山田 浩⁴⁾

¹⁾北里大学医学部眼科学教室, ²⁾新潟大学医学部眼科学教室

³⁾新潟大学医学部第一生理学教室, ⁴⁾ソニー(株)中央研究所

要 約

Head mounted display (HMD) を用いてビデオ映画を2本または3本(4~6時間)連続して視聴した。視聴前および1本視聴するごとに各種視機能検査を行い、主として屈折・調節・輻湊機能に与える影響について検討した。対象は、健常者13例を用いた。検査項目は各回とも、他覚的・自覚的屈折値および視力、調節機能として安静位・ステップ応答、近見、遠見眼位とAC/A比である。その結果、等価球面値では1本視聴するごとに近視化する傾向がみられた。統計学的には視聴前と2本視聴後で有意差が認められた。これは、一部の被験者で一般的傾向とは異なり徐々に遠視化を示したことからも、装着開始時の視度調整が屈折変化に関連するためと推測された。

その他の検査項目には、有意な変化は認められなかった。しかし、AC/A比は、短時間で一度変化したものがさらに長時間視聴を続けることにより、視聴前の値に近づくという傾向がみられた。HMD長時間連続使用による調節・輻湊系への影響は、生理的変動の範囲内と思われた。ただし、今回の結果はさらに長期間使用した場合の影響を予測するものではない。また、subclinicalな異常を有する個人の使用に関しては慎重に扱う必要があると考えられた。(日眼会誌 100: 535-540, 1996)

キーワード：ヘッドマウントディスプレイ、屈折、調節安静位、AC/A比

Effects on Visual Functions Following Several Hours' Usage of A Head Mounted Display

Naoto Hara¹⁾²⁾, Kazuhiko Ukai¹⁾, Satoshi Ishikawa¹⁾, Mineo Takagi²⁾, Takehiko Bando³⁾ and Hiroshi Oyamada⁴⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, School of Medicine, Kitasato University

²⁾Department of Ophthalmology, Niigata University School of Medicine

³⁾Department of Physiology, Niigata University School of Medicine

⁴⁾Central Research Laboratory, SONY Corporation

Abstract

We investigated the effects of viewing video movies with a head-mounted display (HMD) for 4 to 6 hours on visual functions such as refraction, visual acuity, and accommodation-vergence system. Two or three video movies were watched without any breaks by 13 normal volunteers (age: 22~40). Measurements were made of ① objective and subjective refraction, ② corrected visual acuity, ③ tonic level and step response of accommodation with a computer-assisted infrared optometer, and ④ near and far phorias and AC/A ratio. Significant transient myopia was found following 4 hours' viewing,

but not following 6 hours' viewing. Scrutinizing individual data, myopia was consistently found in some subjects, and hyperopia in others. We presumed that many subjects might have been influenced by initial instrumental myopia when they adjusted the focus by using the mechanism built in the HMD. No significant change was observed in any other examination. However, there was a tendency for the AC/A ratio to change after a short time, and then to recover to its original value. Based on the results in this study, it appears that some changes in accommodation and vergence systems

刷請求先：〒228 神奈川県相模原市北里1-15-1 北里大学医学部眼科学教室 原 直人
(平成7年12月28日受付, 平成8年3月1日改訂受理)

Reprint requests to: Naoto Hara, M.D. Department of Ophthalmology, School of Medicine, Kitasato University, 1-15-1 Kitasato, Sagami-hara-shi, Kanagawa-ken 228, Japan

(Received December 28, 1995 and accepted in revised form March 1, 1996)

are caused by viewing video movies with the HMD. Although the amount of changes was within normal physiological variation in this study, the possibility still remains that usage for a longer time may lead to other changes in visual function. Care is also necessary when using the HMD in subjects with

subclinical problems. (J Jpn Ophthalmol Soc 100 : 535—540, 1996)

Key words: Head mounted display, Refraction, Tonic accommodation, AC/A ratio

I 緒 言

ゴーグル型の二面式液晶表示装置(head mounted display: 以下, HMD)が開発され,次世代の家庭用ゲーム機などの表示装置として注目されている。今後, HMDの使用頻度は確実に増加すると考えられる。近年, video display terminal(VDT)作業, テレビゲームなどで近視化が生ずるか否かが議論されている^{1)~3)}。HMDはレンズ系により像は遠方にできているものの, 表示装置は眼に近接して置かれている。また, 両眼個別の装置を使用しているうえ, 解像度は低く像の歪みが大きいなど, TVディスプレイなどよりも画像の質は低い。そのような装置の視覚機能に及ぼす影響については未知の点が多く, 一般普及前に影響を明らかにする必要がある。すでに我々は, ソニー製 HMD 試作品バイザートロンを用いてのビデオ映画視聴(約2時間)後に起こる調節機能を始めとする視機能の変化は, 現行のテレビ視聴と比較しても生理的範囲内の変化であることを報告⁴⁾した。今回は, 約4時間または約6時間のビデオ映画(両眼で視差を持たない映像)連続視聴が主として屈折・調節・輻湊機能に与える影響について, 2つの施設で個別に測定し総合的に検討したので報告する。

II 方 法

1. 使用した HMD

輻湊角6度のバイザートロンIA型・輻湊角3度のバイザートロンIB型(詳細は文献⁴⁾参照のこと), ディスプレイの映像と外景が重なって見えるシースルー型のバイ



図1 II型バイザートロンの外観。
前面のスモークパネルを通して風景がみえる。

ザートロンII型(輻湊角3度)の3機能を使用した。いずれもソニーの試作品で, IA・IB型は視度調整可能(ただし, 調整した視度を読み取る目盛はない), II型は眼鏡着用可能なため視度調節なしである。3機種間の仕様の差が視機能変化に及ぼす影響については今後検討する予定であるが, 今回は HMD の長時間視聴による影響を機種によらず調査するために, 機種ごとの差は検討しない。バイザートロンII型の外観(図1)を示す。

2. 手 順

実験は, 新潟大学と北里大学において行われた。バイザートロンを用いて, 1回約2時間のビデオソフトを計2回(新潟大学)または3回(北里大学)連続視聴し, 視聴前と各回終了時に下記に述べる検査を実施した(図2)。ビデオソフトは各被験者が実験中興味を持ち続けられるように, 被験者自身が任意に選択したものをを用いた。選ばれたビデオ映画の時間は100~140分であったが, すべて約2時間とみなした。なお, 実験時には, ヘルシンキ宣言に従い使用法を各被験者に十分に説明し, インフォームド・コンセントを得た。

3. 対 象

軽い屈折異常以外に眼科的疾患を有しない被験者合計

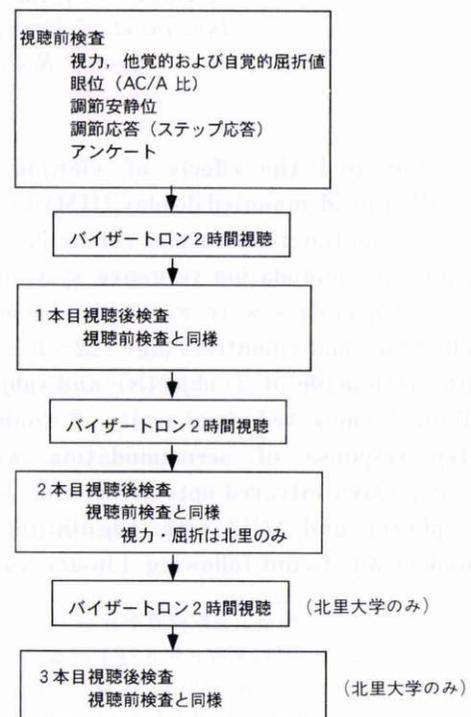


図2 実験の手順。

表 1 被験者と使用したヘッドマウントディスプレイ

	年齢	性別	視聴時間	使用機器
北里大学				
TE	21	M	6	バイザートロン IB
SA	22	M	6	バイザートロン IB
SE	25	F	6	バイザートロン IB
YY	22	M	6	バイザートロン IB
OM	21	F	6	バイザートロン IB
YM	22	F	6	バイザートロン IB
新潟大学				
UK	44	F	4	バイザートロン IA
AM	40	F	4	バイザートロン IA
HN	30	M	4	バイザートロン IA
YH	20	M	4	バイザートロン IA
KM	21	F	4	バイザートロン IB
SG	20	F	4	バイザートロン II
KK	20	M	4	バイザートロン II

M：男性 F：女性

13 名を対象とした。各機種ごとの被験者の内訳を表 1 に示す。北里大学での 6 時間視聴はバイザートロン IB 型で男性 3 名、女性 3 名、平均年齢 22.2±1.3 歳、新潟大学での 4 時間視聴はバイザートロン IA 型では男性 2 名、女性 2 名、平均年齢 33.5±9.3 歳、バイザートロン IB 型は 21 歳女性 1 名のみである。バイザートロン II 型は 20 歳の男性 1 名、女性 1 名であった。II 型では眼鏡装用したままでも試聴可能である。被験者は日常装用している眼鏡を用いて視聴した。この眼鏡では視力が 1.0 であり、完全矯正時の視力が 1.2 であることから若干の近視低矯正が考えられるが、II 型の設計像距離は 2 m であることから視聴に対する影響はないと考えられた。

4. 評価方法

他覚的屈折値はニデック社製赤外線オプトメータ

AA-2000 の屈折測定モードを用いて測定記録し、等価球面值と乱視度の変化を検討した。調節安静位は他覚的屈折測定に用いたのと同じ装置の調節測定モードを用いて鶏飼ら⁹⁾の方法に準じて水平経線上で測定した。ただし、視標が消えた dark での調節ではなく、empty field での測定である。安静位は 60 秒間連続測定し、この間の平均値で評価した。調節ステップ応答は、同一の装置により刺激として視標を遠点と遠点より 3 D 近方の間を交互にステップ状に動かし、それぞれの位置で視標を 5 秒間停留させ、これを連続 5 回繰り返す間の調節を測定した。最大応答速度および視標が遠点側に移動した後に、反応が最も遅かった位置が繰り返すにより近方へずれてくる現象(調節残効の累積増加)を検討した。最大応答速度は、視標が近点側に位置している区間での全測定点を 3 ポイント幅で移動平均し、その差分の最大値をとって定義し、5 回の値を平均した。調節残効の累積増加は、各回の調節反応の最も遠点側の値をプロットし、その 5 回のプロットに対する回帰直線を求め、その傾き(D/回)を定義した⁴⁾。各刺激ごとの最も遠点側への調節位置は、最大速度の場合と同様にノイズの影響を減少させるため、3 ポイント幅で移動平均したのちに求めた。調節測定の際のサンプリングは、新潟大学での調節安静位の測定のみ 20 ms 間隔で、残りはすべて 80 ms 間隔である。AC/A 比の測定は、北里大学ではプリズムカバーテストによる heterophoria 法、新潟大学では大型弱視鏡を用いた自覚的眼位測定法(-3 D レンズ負荷前後)で行った。このとき、測定は完全矯正した後に行ったため、日常装用眼鏡と(バイザートロン II 型使用者では視聴時の眼鏡とも)異なった状態になる。AC/A 測定は被験者本来の輻湊機能を評価するという装用眼鏡と異なった目的で使用されるのであるから、この差異は当然のことである。視力および自覚的

表 2 結果 (平均値±標準偏差)

	n	視聴前	一本目視聴後	二本目視聴後	三本目視聴後	
北里大学						
屈折 (等価球面值)	D	12	-1.25±0.89	-1.40±0.99	-1.44±1.04*	-1.39±1.14
屈折 (柱面值)	D	12	0.73±0.42	0.61±0.35	0.72±0.39	0.64±0.33
眼位 (遠見)	△	6#	-8.0±6.9	-6.5±5.8	-5.0±4.8	-3.8±3.2
眼位 (近見)	△	6#	-9.3±6.4	-11.0±7.4	-10.0±8.5	-9.8±8.8
AC/A 比 (ヘテロフォリア)	△/D	6#	5.6±2.1	4.5±1.6	4.4±1.9	4.1±1.8
調節安静位	D	12	3.14±2.02	2.68±2.19	3.13±1.74	2.90±2.09
調節最大応答速度	D/s	12	3.08±1.35	3.19±0.95	2.99±1.24	3.02±1.04
調節残効累積増加	D/回	12	-0.01±0.12	0.01±0.18	-0.06±0.24	0.02±0.25
新潟大学						
眼位 (遠見)	△	7	1.4±2.2	2.1±2.3	1.1±2.1	
眼位 (-3 D 負荷)	△	7	10.4±3.0	8.0±2.7	8.0±2.4	
AC/A 比 (大型弱視鏡)	△/D	7	3.0±1.9	2.0±1.1	2.3±1.0	
調節安静位	D	14	1.51±2.19	1.34±1.15	1.69±1.89	
調節最大応答速度	D/s	14	2.56±1.00	2.72±1.06	2.87±1.07	
調節残効累積増加	D/回	14	0.06±0.08	0.02±0.09	0.07±0.13	

*：視聴前との差 p<0.05 (paired-t test, 両側検定), その他は p>0.05

#：3 本目視聴後のみ 1 例測定不能のため n=5, n=5 で求めた視聴前の値と比較計算

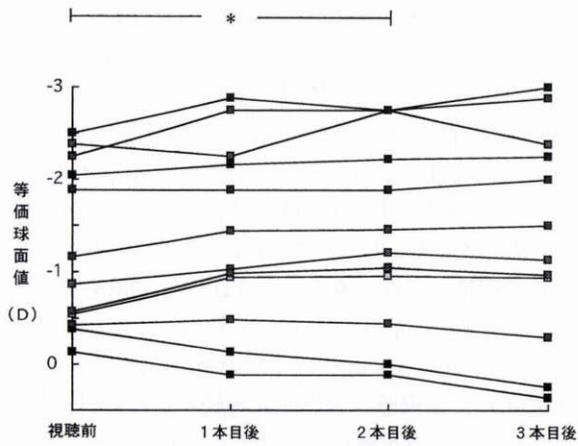
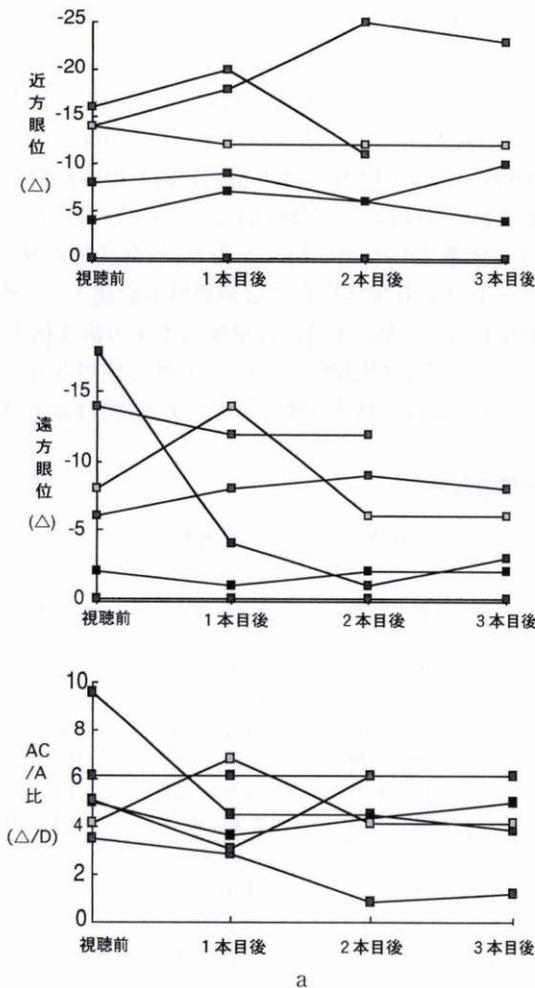


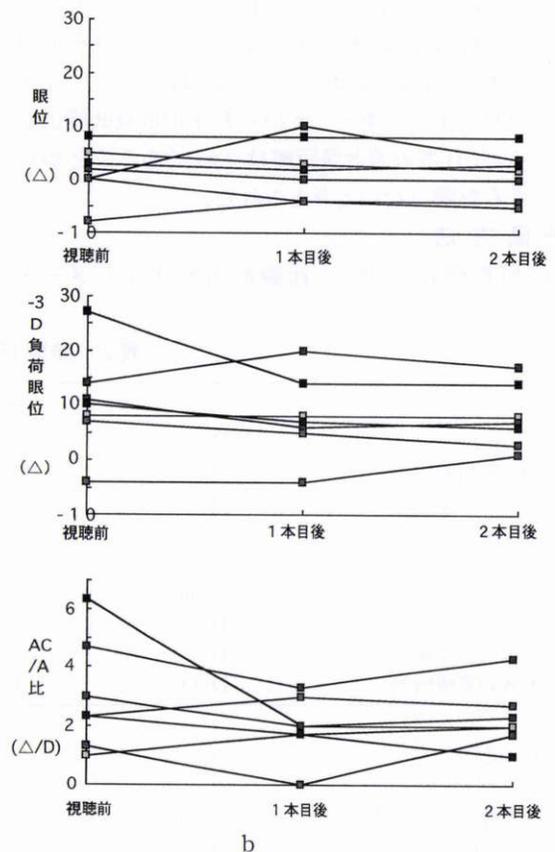
図3 等価球面積の変化.

2本目の視聴後に近視化していた(*: $p < 0.05$).

屈折検査には通常のランドルト環視力表を用いた。また、視聴前および各回終了時には自覚的症狀に関するアンケート記入を求め、眼精疲労の有無などの把握に努めた。



a



b

図 4

a: 遠見・近見眼位と AC/A 比の変化(北里大学). 眼位は heterophoria 法により測定. b: 眼位と AC/A 比(新潟大学). 上段は大型弱視鏡によるレンズ負荷なしでの眼位, 中段は-3D 負荷時の眼位, 下段が AC/A 比の変化を示す.

III 結果

1. 視力・屈折

矯正視力に関しては、今回の測定により有意な変動を示した例はなかった。北里大学におけるビデオ映画3本視聴による等価球面積(他覚的測定値)の変化を表2および図3に示す。新潟大学では視聴前のみ測定を行っている。片眼ずつで検討すると、近視化するものは毎回近視化し、遠視化するものは毎回遠視化する傾向がみられ、さらに、図には示していないが、同一被験者では左右眼は遠視化あるいは近視化と同一の方向に変化する傾向があった。両眼合わせた検討では、2本目視聴時点で視聴前に比べて統計学的に有意な近視化が認められた。乱視値の変化には一定の傾向がなく、統計学的な変化は認められなかった。

2. 眼位と AC/A 比

北里大学と新潟大学では検査方法が異なることから、別々に結果を示す。北里大学(表2および図4a)では、1

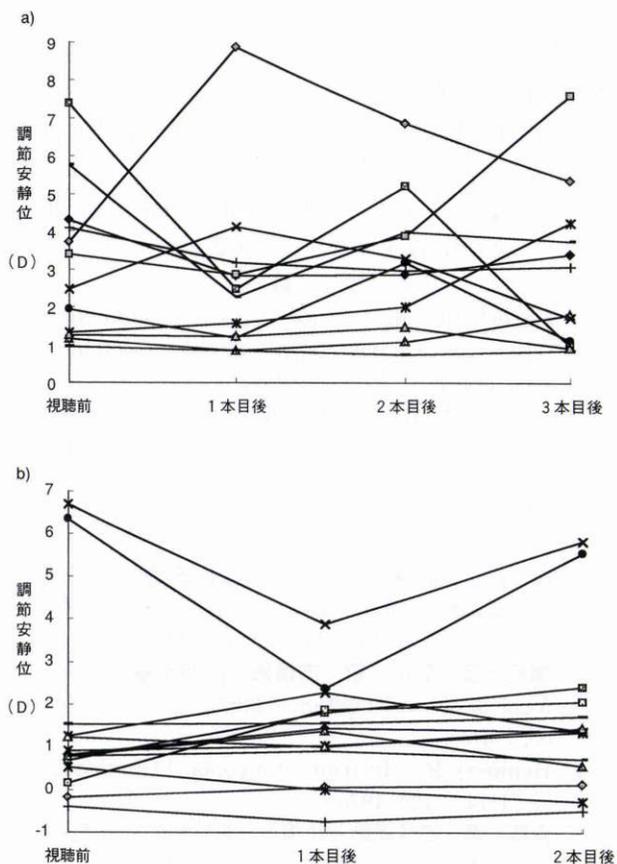


図 5 調節安静位の変化。

a) 北里大学, b) 新潟大学. 縦軸は調節安静位を示す. 上ほど近方化を表す.

本目のビデオ映画終了時点で, 遠見での眼位が輻湊眼位となり AC/A 比に減少傾向がみられるが, 統計学的には有意な変化ではなかった. 2 本目あるいは 3 本目のいずれの視聴後でも, 有意な変化は認められなかった. ただし, いったん変化した AC/A 比が, さらに視聴を続けることにより, 徐々に視聴前の値に戻る傾向がみられた. また, 新潟大学での結果(表 2 および図 4 b)にも有意な変化はみられなかった. ここでも等価球面值と同様に, 一本目視聴後に変化した AC/A 比が, 二本目視聴後には視聴前の値に戻る傾向がみられた.

3. 調節安静位

60 秒間の測定値を平均した結果を表 2 および図 5 に示す. 北里大学(図 5 a)では視聴前から近方に調節安静位が存在した被験者ほど変化を来しやすい傾向がみられる. ただし, 有意な差はみられなかった. 一方, 新潟大学(図 5 b)でも 1 本目, 2 本目視聴後, いずれも有意な変化は認められなかった.

4. 調節応答

ステップ刺激での調節最大応答速度と調節残効の累積増加を表 2 に示す. 統計的に有意な変化はなかった.

IV 考 按

今回の実験では北里大学, 新潟大学の両施設間で一部検査方法が異なった. すなわち, 屈折検査は北里大学のみで行われ, 眼位および AC/A 比では測定法が異なる. しかし, ここに示した結果では, 一方でのみ行われた屈折検査は別にして両施設間で結果は一致した. そのため, 屈折の変化以外は両施設合わせて考察を行う.

屈折検査では 6 名中 5 名が近視化する傾向を示した. 一般的に視度調節は近接性調節のためにやや近方寄りに設定されることが多い⁶⁾. このため, 調節緊張した状態で視聴することにより近視化がみられたと考えられる. 遠視化した被験者(1 名)では, 視度調節を遠点寄りに設定したため調節弛緩が起きたものとする.

先行して行われた 2 時間視聴の結果⁴⁾では, 調節安静位は変化しなかった. 今回の結果でも, 全体としては変化はなかった. しかし, 図 5 に示したとおり, 各被験者では大きな変動を示していた.

ステップ刺激での調節残効の累積増加には影響がみられなかった. VDT 作業においては, 眼球運動は saccadic な運動が各方向に行われており⁷⁾, それに伴い調節機能も遠見・近見と多用されていると考えられる. したがって, 調節動特性に変化が表れることがあろう. 一方, HMD では継続的な調節を必要とするものの, 急速な調節反応の必要性がないため, 応答速度や調節残効の累積増加には影響しなかったと考えられる.

いずれにしても, 特定の視距離を見続けることによると思われる屈折変化も含めた調節系への影響が存在することが示された. 視聴開始時の視度調節の設定の影響を受けている可能性があり, 長時間の使用においては視度設定を慎重に行う注意が必要であろう. また, この可能性を確認するためには被験者が合わせた視度を確認すること, および被験者が調整せず, あらかじめ設定された視度で視聴したときの影響を調べるなどの実験が必要であろう.

調節安静位は近方調節と遠方調節の平衡の上に成立していると考えられ, 調節に関する毛様筋トーンのバランス状態との解釈もされている⁸⁾. Tsuchiya ら⁹⁾は, VDT 作業者の β ブロッカーによる点眼試験では, 調節安静位と近見視標間の調節の最高速度には影響しないことから, positive accommodation には副交感神経系が大きく関与していると考察している. 以上から, 疲労などの原因により, 調節安静位を保つ自律神経系のバランスが副交感神経系が優位となり, 近方調節に関与していることも推測される. 視聴後のアンケートによれば, 頭重感, 頭痛, 眼の奥が痛いなどの眼精疲労の訴えもあり, これらの症状の発現にも自律神経系のアンバランスの関与があるものと推測される. VDT 症候群では 1 時間使用に対して 15 分の休息が適切とされている¹⁰⁾が, HMD の長時

間視聴にも適宜な休息が必要であろう。

今回の実験では、近見・遠見眼位には両施設とも有意な変化はみられなかった。実験中必要とされる輻湊量は固定化されているため、眼位に順応現象がみられるはずである。にもかかわらず、今回眼位変化がみられなかったのは、使用した機器の必要輻湊量が自然であった、あるいは輻湊順応が視聴を終了したことによって速やかに消失した、という2点の可能性が考えられる。Wolfeら¹¹⁾の近見負荷後の輻湊トーンが3分程度で元に戻るという報告と関連性が考えられる。VDT業務での眼位変化の長期間における経過観察の結果¹²⁾では、業務開始後12か月の時点で眼位は外斜位から内斜位に変化していくことが知られている(Maddoxによる眼位検査による)。長期間の業務が眼位に影響を及ぼすわけだが、この報告は、①業務時間が長いこと、②観察期間がより長期にわたること、③眼位測定方法が異なることなどから今回の実験と単純には比較はできない。我々の過去の報告⁴⁾では、短時間の使用ではHMDの種類によって結果が異なり、バイザートロンIA型では15人中2名が内よせ眼位になったが、IB型使用者には眼位に全く影響は出なかった。これらのことから、正常者でも月単位でのより長期間使用下の観察を行っていった場合にはVDT業務のごとく眼位に変化を来す可能性は残るが、今回のごとく4～6時間での使用では眼位には影響がなく、生理的な適応範囲内の変化に留まるものと思われる。

AC/A比に関しては、両施設において、バイザートロンの視聴によりいったん変化したAC/A比が、さらに視聴を続けることにより、徐々に視聴前の値でその個人が本来持つと思われる値に近づくという興味深い傾向がみられた。調節順応、眼位の順応とAC/A比の変化がどのように関連しているかは不明な点も多く、今後の研究が必要とされよう。両眼視差を利用した3D映像の視聴においては、調節必要量が常に一定であるにもかかわらず、輻湊必要量が画面に呈示された物体の奥行きによって変化していることから、正常な調節・輻湊機構間のリンクが変調されてしまいAC/A比に変化が表れ、疲労とも関連して大きな問題となっている。しかし、今回のような両眼で見ているが視差のない画像の場合(bi-ocular condition¹³⁾)では視差のある画像の場合と異なり、このような問題は少ないはずである。調節順応・眼位の順応のアンバランスのため、一時的に変化したAC/A比が時間とともに再構築され元の値に戻ったと考えられる。

以上の結果から、現在までの問題点をまとめると次のようになる。HMDの連続視聴は調節・輻湊に影響を与えるものの、これらが恒常的な近視、乱視の発生や眼位変化

につながるかは不明である。したがって、屈折・調節・輻湊機能への影響が可逆的な変化であるかどうか、今後は“視機能回復”の検査も必要であろう。またSchor¹⁴⁾の報告によれば、AC/A比が通常より高い、または低い個人では調節系あるいは輻湊系の順応にアンバランスがみられるという。この点からもsubclinicalな異常をもつ個人に対しての使用には十分な注意が必要と考える。

文 献

- 1) Ehrlich D: Near vision stress: Vergence adaptation and accommodative fatigue. *Ophthalmic Physiol Opt* 7: 353-357, 1987.
- 2) Owens DA, Wolf-Kelly K: Near work, visual fatigue, and variation of oculomotor tonus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 743-749, 1987.
- 3) Ishikawa S: Examination of the near triad in VDU operators. *Ergonomics* 33: 787-798, 1990.
- 4) 原 直人, 高木峰夫, 板東武彦, 小山田浩, 大西志保, 日下部正宏: 二面式液晶表示装置使用前・後の視機能比較. *視覚の科学* 14: 82-87, 1993.
- 5) 鶴飼一彦, 石川 哲, 市橋祐一, 畑田豊彦: Dark focus of accommodationの測定. *眼光学* 8: 61-65, 1987.
- 6) Hennessy R: Instrument myopia. *J Opt Soc Am* 65: 1114-1120, 1975.
- 7) 齊藤 進: 眼球運動と注視点分布特性の定量化. 第7回日本人間工学会論文集, 555-560, 1986.
- 8) Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Hung GK, Gilmartin B: Tonic accommodation: A review. I. Basic aspects. *Ophthalmic Physiol Opt* 13: 266-284, 1993.
- 9) Tsuchiya K, Aoki S, Ukai K, Ishikawa S: Residual effect on accommodative system following VDT work. In: Shimizu K (Ed): *Current Aspects in Ophthalmology*, Vol 2. 1713-1716, Elsevier Science Publishers, Tokyo, 1992.
- 10) 山本宗平: VDT作業の疲労を防ぐ: VDT作業における作業管理の基本. *労働衛生* 26: 50-52, 1985.
- 11) Wolfe JM, Ciuffreda K, Jacobs S: Time course and decay of effects of near work on tonic accommodation and tonic vergence. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 992-996, 1987.
- 12) 石川 哲(編): *VDT医学マニュアル*. 全日本病院出版会, 東京, 1989.
- 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) Schor CM: Imbalanced adaptation of accommodation and vergence produces opposite extremes of the AC/A and CA/C ratios. *Am J Optom Physiol Opt* 65: 341-348, 1988.