

日本眼科医会
IT眼症と環境因子研究班業績集

(2002～2004)



社団法人 日本眼科医会

巻 頭 言

社団法人 日本眼科医会

会 長 三 宅 謙 作

我々が日常診療で、患者の自覚症状として頻繁に遭遇するものの1つに眼精疲労（眼精疲労様症状）がある。この病態生理は、十分明らかになっていないが、背景因子として鈴木昭弘氏が分類しているように、外環境要因、視器要因、内環境（心的）要因の3つが考えられ、これらが複雑に絡み合い自覚される症状と考えられる。

これらの要因の中で特に近年変化の激しいものが外的環境である。オフィスや教育現場の Information Technology（以下 IT）化、インターネットや携帯電話の普及、コンタクトレンズ（CL）や屈折矯正手術の普及、さらにはこれら全ての低年齢化などがその主なものである。

かつて VDT（Video Display Terminal）症候群とも呼んだ症候の背景が上述の如く拡大したために、今日では IT 眼症とも呼ばれる一群の症候群が出てきている。

日本眼科医会では 1986 年～1989 年にかけて VDT 研究班を設け、既にその業績集を発行している。上述の状況変化に対応すべく、「IT 眼症と環境因子研究班」を 2001 年に立ち上げ、この研究班は精力的に研究を行い、2004 年に終了した。

ここに、その業績集を刊行する運びとなった。内容は最新の機能検査を駆使した IT 眼症の評価結果はもとより、シックハウス症候群など空気汚染の問題やドライアイなど間接的に IT 眼症に関連するトピックス、エルゴノミクスや TV 画面に関する最近の問題など広範囲のトピックスを含む興味深い読み物になっている。さらに日本眼科医会が 2003 年に行った眼精疲労に関する全国アンケート調査の分析も含まれ、第一線で診療している眼科医に有用な情報を提供すると信じている。

2001～2004 年の期間、終始ご指導賜った IT 眼症と環境因子研究班班長木下茂先生（京都府立医大教授）をはじめ、各班員の先生方のご努力に深甚なる謝意を申し上げます。

目 次

巻 頭 言

社団法人 日本眼科医会 会長 三 宅 謙 作

IT 眼症と環境因子研究班業績集刊行にあたって

IT 眼症と環境因子研究班 班長 木 下 茂…………… (1)

第 1～3 回研究会抄録ならびに質疑応答 …………… (3)

〔IT 眼症と環境因子業績集〕

1. 眼精疲労に関する 2003 年度全国アンケート調査報告 木 下 茂・他 …… (43)
2. IT 眼症とユビキタス情報社会 板 東 武 彦…………… (61)
3. IT 化社会のエルゴノミクス課題 斉 藤 進・他 …… (74)
4. VDT 業務とシックハウス症候群に関する予報的研究 石 川 哲・他 …… (83)
5. 室内空気汚染と関連するとされる有機リン化合物 石 川 哲・他 …… (88)
6. 職域の VDT (Visual display terminals) 作業従事者における
ドライアイの疫学的検討 横 井 則 彦・他 …… (94)
7. IT 機器使用による調節機能変化の検討 梶 田 雅 義・他 …… (100)
8. VDT 作業者の近々累進屈折力レンズ常用の臨床評価 梶 田 雅 義・他 …… (104)

9. 輝度変調型 3D ディスプレイによる 立体映像負荷の視機能への影響	細 島 淳・他 …… (109)
10. 調節・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 効果と立体像鑑賞での両眼視差の許容量に関する研究	岩 崎 常 人・他 …… (114)
11. トライイリスを用いた IT 眼症の評価	石 川 均・他 …… (129)
12. IT 関連情報端末による映像負荷が近見反応時の 瞳孔運動に与える影響	鈴 木 康 夫・他 …… (135)
13. 携帯電話メール使用前後の瞳孔反応—瞳孔振動による検討—	原 直 人・他 …… (147)
14. モノビジョン症例における視機能と眼精疲労の関連について	新井田 孝 裕・他 …… (153)
15. 機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) による IT 眼症における皮質活動の検討	吉 田 正 樹・他 …… (159)
編 集 後 記	社団法人 日本眼科医会 常任理事 種 田 芳 郎 …… (169)

IT 眼症と環境因子研究班
業績集刊行にあたって

日本眼科医会 IT 眼症と環境因子研究班

班 長 木 下 茂

1980年代に、日本眼科医会に VDT 症候群研究班（班長：石川哲）が結成され、VDT（Visual display terminals）作業による眼の疲労に関する精力的な研究がなされた。その後、VDT 作業に伴う眼の疲労は、テクノストレス眼症と名称を変更し、新たなコンセプトのもとに多数の臨床研究が行われた。しかし、その病態に関しては不明な点が多く、現在では、この疾患群をさらに大きく包含するために IT（Information Technology：情報技術）眼症という言葉が使用されるようになっている。この IT 眼症は、生理的な眼の疲れである眼疲労も病的な疲れである眼精疲労も、さらにこれらに関係した蒸発亢進型ドライアイも包含したものである。

IT 眼症の代表的なものは、コンピュータディスプレイを長期間見ることによる眼の疲労である。長期間の近業作業による疲れ、異なった距離の近業作業の繰り返しによる疲れ、ディスプレイの不適切なフリッカーや輝度による疲れ、注視による瞬目不全に関係したドライアイ、作業環境に関係した外部要因による疲れ、さらには心理的要因などが複雑にからまって生じると考えられている。実際、VDT 作業に従事する 36%の人が精神的疲労を、78%の人が身体的疲労を感じていると厚生労働省は発表しており、このような疲労を予防するために「新 VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」を平成 14 年 4 月 5 日に公表している。

このように IT 眼症が社会的に大きな問題となっている時に、この問題を解決するべく、IT 眼症と環境因子研究班を約 4 年前に立ち上げられた日本眼科医会諸先生方の慧眼に敬意を表したい。本業績集は、その 3 年間の成果の集約であり、最新の貴重な研究を満載している。特に、2,000 名を超える日本眼科医会の先生方からいただいた IT 眼症に関するアンケート結果は非常に貴重なデータと思われる。ここに、IT 眼症と環境因子研究班の班員、研究協力者の諸先生方のご協力に御礼を申し上げるとともに、研究班の設立と運営にご尽力を賜りました佐野七郎前会長、三宅謙作会長、日本眼科医会理事諸先生方そして事務局の方々に御礼を申し上げる。

研究会抄録ならびに質疑応答

第 1 回

日 時：2002 年 5 月 23 日（木）9：00～12：00

場 所：仙台国際センター 3F 小会議室 7

開会の辞

会長挨拶 佐野七郎（日本眼科医会会長）

班長挨拶 木下 茂（IT 眼症と環境因子研究班
班長）

座長 板東武彦（新潟大学大学院医歯学総合研
究科）

1. 立体映像ゲームの視機能に及ぼす影響について

○中島伸子（バプテスト眼科クリニック）

中村芳子（NTT 西日本関西健康管理センター）
稗田 牧，横井則彦，木下 茂（京都府立医
科大学眼科学教室）

2. 液晶シャッター式偏光眼鏡を用いた 3D テレ
ビによる立体映像負荷が調節機能に与える影
響

○松田泰輔，鈴木康夫，大塚賢二（札幌医科大
学医学部眼科学講座）

3. 立体視ビデオ作品視聴後の主観的体調評価と
身体的パラメータとの相関について

○板東武彦，小山田 浩，高木峰夫，植木智志，
深作貞文（新潟大学大学院医歯学総合研究科）

4. 楔状回転視標による後頭葉視覚中枢反応の検
討

○吉田正樹，北原健二（東京慈恵会医科大学眼
科学講座）

井田正博（都立荏原病院診療放射線科）

座長 不二門 尚（大阪大学医学部眼科）

5. 調節に対する遠方化刺激の眼精疲労への効果

○岩崎常人，伊比健児，田原昭彦（産業医科大
学眼科学教室）

6. 近見調節時と類似の波面収差パターンを示し
た調節痙攣症例

○二宮さゆり，黒田輝仁，後藤浩也，前田直之，
不二門 尚，田野保雄（大阪大学医学部眼科）
広原陽子，三橋俊文（トプコン）

7. IT 機器の人体影響評価における調節緊張速
度計測の有用性

○鈴木康夫，松田泰輔，大塚賢二（札幌医科大
学医学部眼科学講座）

伊福部 達（北海道大学電子科学研究所感覚
情報部門）

恩田能成（エム・アール・システム研究所，
キャノン株式会社評価技術開発室）

8. 眼球運動，瞳孔反応同時記録が可能な近見反
応測定装置を用いた IT 眼症の評価

○石川 均，清水公也，西 泰枝，堀部 円
（北里大学眼科）

石川 哲（北里研究所病院臨床環境医学セン
ター）

袴田直俊（浜松ホトニクス株式会社）

座長 木下 茂（京都府立医科大学眼科学教室）

9. 学校の情報技術（IT）化とエルゴノミクス
課題

○丸本達也（丸本眼科）

城内 博（日本大学大学院理工学研究科医療・
福祉工学専攻）

斉藤 進，外山みどり（独立行政法人産業医
学総合研究所）

10. オフィスワーカーの多数例におけるドライア
イの検討

○横井則彦，木下 茂（京都府立医科大学眼科
学教室）

坪田一男（東京歯科大学眼科）

堀口俊一（日本予防医学協会）

11. VDT 作業者の調節微動から見た調節機能の異常

○梶田雅義，篠原眞美，鈴木説子（福島県立医大）

12. アンケートで調査した屈折矯正手術の問題点

○稗田 牧，木下 茂（京都府立医科大学眼科学教室）

中島伸子（バプテスト眼科クリニック）

13. 厚生労働省の新「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」

○齊藤 進（独立行政法人産業医学総合研究所）

まとめ 木下 茂（IT 眼症と環境因子研究班 班長）

閉会の辞 三宅謙作（日本眼科医会副会長）

1. 立体映像ゲームの視機能に及ぼす影響について

中島伸子（バプテスト眼科クリニック）

中村芳子（NTT 西日本関西健康管理センター）

稗田 牧，横井則彦，木下 茂
（京都府立医大）

目的：立体映像（3D）ゲームの調節機能及び眼位等に対する影響について検討した。

対象および方法：対象は器質的眼疾患を有さない小児 16 名（ 13.7 ± 2.2 歳）及び成人 17 名（ 20.3 ± 0.4 歳）とした。方法は A 社製 3D ゲーム商品を用いて 1 時間所定のゲームを行い，その直前，直後，1 時間休憩後にランドルト環による遠見視力，トータルビジョンテスター VT-5000（TOMEY 社製）による眼位，アコモドメーター AA-2000（ニデック社製）による調節機能を測定した。比較検討対象として同ソフトを擬似的に二次元化したもの（以下擬似 2D とする）を用いて同様の諸検査を行った。AA-2000 による測定は，等速度応答とその前後に遠点に +2D を負荷した視標を用いて行った。

結果：視力・眼位検査に有意な変化は認めなかった。調節機能検査では 3D ゲーム施行直後にのみ

有意な変化を認めた。成人で認められた変化は，(1)調節安静位の近方偏位と調節変動量の増大（ともに $p < 0.005$ ），(2)近見負荷時の調節遠点の近方偏位（ $p < 0.05$ ）であった。また小児では上記 (2) のみに有意な変化を認めた（ $p < 0.01$ ）。

しかし，これらの項目は 1 時間休憩後には施行前の状態に復しており，また擬似 2D と 3D の両者間にもその変化有意差は認められなかった。

結論：立体映像ゲームは調節機能に一過性の変化をもたらしたが，長期的な影響は認められなかった。また，小児に比して成人の方が有意な変化が認められた。

一質疑応答一

鈴木：最後の結論で疑似 2D との比較で差がなかったということは，今回の結果は立体映像を負荷したことに起因しないということか。

中島：そうである。擬似的 2D というものに関しても変化量に差がないということは，より強い負担として現れていたかもしれないが，他の TV ゲームでも同じ程度の刺激が現れるものと思われる。

鈴木：CG 映像というのは視覚としては強いものであるので，同じような映像提示機を使って実写の映像を見たときの変化なども比較すると興味のある結果が現れると思う。

梶田：休憩時の過ごし方の指示はどうしたのか？ 2D, 3D の時間的な疲労度の感じ方の差はあったか？

中島：休憩時は眼を使わないように指示をした。目を閉じる，ポーっとしている，中には眠っている人もいた。アンケートによると擬似的 2D, 3D の差より，大人と子供の差の方が多く，大人の方が疲れたという症例数が多かった。また，疲れたという人の中には擬似的 2D の方が疲れたという者が多かった。

佐野：3 時間続けてゲームをする子もいるが，1 時間に設定した理由は何か？

中島：被験者すべてが続けられる時間を 1 時間とした。また，日頃 1 時間ゲームをしたら休憩をとるように指導していることによる。

佐野：子供を使つての実験であるので大変だが，もう少し長い時間のもも比較して欲しいと思

う。

中島：ご助言ありがとうございました。

岩崎：どういう内容のゲームだったか？

中島：スーパーマリオのような相手とテニスの試合をするようなもので、実際にボールが飛んでくのように見えるものである。

岩崎：立体的に見えるのはそのボールか？

中島：そうである。

岩崎：視野は交叉側になったり同側性になったりということで遠近になるのか？

中島：そうである。

岩崎：最近眼精疲労用のソフトとしてディスプレイから出たり引っ込んだりするものがある。それと似ていることになるが、だとすれば負荷になっておらず、リラックスする効果があると思われるが。

中島：ボールを集中して追うというところに負荷がかかると思う。リラックスするといわれているそのソフトに対しては不案内である。

岩崎：ディスプレイに対しシルカが前に飛び出してきたり、奥に引っ込んだりし毛様体筋を緊張させたり弛緩させたりするものである。効果の真偽は分からないが、眼精疲労に効果があると謳われているものである。

中島：視差の量により疲労するのか快適になるのかが変わると思うが、今後そのソフトでの検査も行いたい。

板東：VDT 症候群などでも近方にばかり集中すると症状が出るといわれ、遠ざかる過程で回復を促進するといわれていることから、シューティングゲームのように手前のものばかり集中したゲームの方が症状は出やすいというご意見かと思う。

種田：子供は好きなゲームを集中して行う。テニスゲームにしても好きな子供、嫌いな子供により症状の相違があると思われるが、そのような好き嫌いによる相違も今後調べたい。

中島：今回はゲーム好きという子供を対象とし、立体に見えないという子供は除外した。

2. 液晶シャッター式偏光眼鏡を用いた 3D テレビによる立体映像負荷が調節機能に与える影響

松田泰輔，鈴木康夫，大塚賢二

(札幌医科大学医学部眼科学講座)

目的：我々は、IT 環境における情報提示機器の主役となる種々の映像提示機器が人体に及ぼす影響評価研究において、映像負荷時間が長いほど視機能、特に調節のステップ応答速度に対する影響が大きくなること、また、その影響は負荷映像が 2 次元映像よりは 3 次元映像であるほうが大きいことを報告してきた。これまでの報告で用いた 3 次元映像提示機器は、直視立体液晶ディスプレイであったが、今回は、より一般的な立体映像提示方式である液晶シャッター式偏光眼鏡を用いた 3D テレビによる立体映像負荷が調節機能に及ぼす影響を検討した。

方法：健康成人 4 名（26 歳から 31 歳，平均 28.8 歳）を対象とした。画角 29 インチの 3D テレビ（29N3D，3D Televison）に提示したコンピュータグラフィクスによる立体映像を液晶シャッター式偏光眼鏡（60GX，NuVision）を介して 15 分間負荷した。負荷前後の調節機能をアコモドメータと電子瞳孔計を組み合わせた近見反応検査装置（浜松ホトニクス製の試作機）を用いて計測した。6 ジオプターの直線的調節負荷を 3 往復（遠 1→近 1→遠 2→近 2→遠 3→近 3→遠 4）加え、初めと最後を除く 2 往復（近 1～近 3）を解析対象とした。解析項目は、両眼の瞳孔面積と瞳孔径、及び瞳孔間距離の 5 項目とした。測定環境に起因する絶対値の変動の影響をおさえるため、測定値の前半（近 1～近 2）は、遠 2，後半（近 2～近 3）は、遠 3 の測定値で除することでそれぞれの変率として解析した。

結果：負荷後の瞳孔面積縮瞳率の平均値は 41 %で、負荷前の瞳孔面積縮瞳率の平均値 47 %に対して有意の低下を示した（ $N=16$ ， $P<0.05$ ，対応のある両側 t 検定）。しかし、他の項目の平均値に有意の変化は認められなかった。

結論：液晶シャッター式偏光眼鏡を用いた 3D テレビによる立体映像負荷が、15 分という短時

間負荷でも調節機能に影響を与える可能性が示唆された。短時間で客観的指標の変化が得られる本方式による3D映像負荷を用いた実験系は、IT眼症の定量評価を行う際に有用と考える。

—質疑応答—

不二門：映像提示機器が人体に及ぼす影響の評価を行う上で、どの程度の視差があるものなのか、どのような種類の映像なのか種類をはっきりさせて欲しい。

また、瞳孔の面積自体がどの位変わったのかデータを教えてほしい。

松田：用いた映像はアミューズメント用のものであり視差の具体的な数値は分からないが、交差性視差と同側性視差の両方を与えるものである。内容に関してはCGの中心人物が飛行機に乗ったり、宇宙船に乗ったりするもので、その中心人物に焦点を合わせるようなものである。また負荷後の瞳孔面積は遠方視時、近方視時共に縮小傾向にあったが有意な変化はみられなかった。

板東：背景はどのようなものか。

松田：背景もCG映像で高頻度に変化する特殊なものである。

木下：男女差はあったか。

松田：今回は男性のみの結果である。

板東：映像の背景はドランクビデオといわれる万華鏡が変化するようなものか。

松田：そのような所も一部ある。高頻度で切り替わっていくものである。

3. 立体視ビデオ作品視聴後の主観的体調評価と身体的パラメータとの相関について

板東武彦，小山田浩，高木峰夫，
植木智志，深作貞文

(新潟大学大学院医歯学総合研究科)

目的：健常被験者について3種類のカテゴリの異なる立体視ビデオ作品の視聴による主観的・身体的変化の相関について調べた。

方法：瞳孔径，対光反射振幅，縮瞳速度，再散瞳速度などは赤外線瞳孔計により測定した。仮想的アートCG作品，半現実的CG作品（恐竜が風

景の中を動く），ジェットコースタ実写作品の3種類を用い，同一被験者（23.1±0.9歳）7人（男5人，女2人）が連続3日間，毎日ランダムな順番で3作品を視聴し，その前後のデータを比較した。立体映像は2台の液晶プロジェクタ，偏光フィルタ，偏光めがねを用い，フィール順次式に80インチスクリーンに投影し，被験者は2mの位置から暗い室内でスクリーンを見た。視聴前後に毎回13項目，7段階の自記式アンケートを行った。

結果：基線瞳孔径は3Dビデオ作品すべてで，視聴後に有意に縮小した。次に，対光反射の縮瞳率は仮想的・半現実的CG作品を視聴後に有意に増加したが，ジェットコースタビデオ視聴後には有意な変化はみられなかった。なお縮瞳率は3日間で有意の差はみられなかった。縮瞳速度は第1日目と比べて，第2，第3日目に有意に増加した。アンケートスコアは3種類の3Dビデオ作品のいずれを視聴した後も，有意に悪化した。なお，視聴後の体調アンケートは初日に最も悪く，第2，3日目には有意に回復した。主観的体調変化と縮瞳率変化は視聴したビデオ作品によって異なった。仮想的CGアート作品の場合には，両者間に有意の相関はみられなかった。一方，ジェットコースタでは，両者間に有意の強い相関がみられた（ $R=0.79$ ， $P<0.01$ ）。半現実CG作品では両者の間に有意な相関はみられた（ $R=0.55$ ， $P<0.05$ ）が，相関は弱かった。

考察・結論：仮想的CGビデオを視聴後は縮瞳率変化が強く，また主観的体調変化と縮瞳率変化との間の相関がみられなかった。このことは，仮想的CG作品では，自己の疲労感や気分の悪さによりビデオ映像の視聴を中止することができないことを示し，客観的リスク管理の必要性を強く示唆する。

—質疑応答—

鈴木：被験者の習熟度により対光反射の取り方が変わると思うが。

板東：予め練習させた。

鈴木：対光反射をとるときの環境はどうか。

板東：10ルクスにして行った。

鈴木：実験は午前か，午後か。

板東：午前の者も，午後の者もあるが，同じ被験

者はなるべく同じ時間帯に行った。

石川(哲)：GERD (Gastro-esophageal Reflux Disease) が最近子供に出やすいことから、アンケートに「胃のむかつき」の項目も加えると良いと思う。

板東：検討する。

4. 楔状回転視標による後頭葉視覚中枢反応の検討

吉田正樹, 北原健二

(東京慈恵会医科大学眼科学講座)

井田正博 (都立荏原病院診療放射線科)

目的：後頭葉における視覚情報は、鳥距溝内に位置する第一次視覚中枢 (V1 野) から、順次 V2, V3 野へと高次中枢内へ情報伝達が行われる過程で、形態覚、運動覚などの高次処理が行われていく。よって、視覚中枢反応を評価するためには、あらかじめ各中枢を分離のうえ評価することが好ましい。各中枢は、標準脳座標軸などによる位置情報によってある程度の分離が可能である。しかし、脳構造は各個人間で異なるため、機能的な分離を行うことが理想的である。今回われわれは、格子縞楔状回転視標を用いて機能的磁気共鳴画像検査 (fMRI) を施行し、視覚中枢の分離を試みた。

方法：対象は正常被検者 3 名である。MR 画像は臨床用 1.5T 臨床機を使用した。機能画像は Gradient echo EPI (TE: 3000ms, TR: 60 ms, FOV: 192 mm, 64 matrix, slice 厚 3 mm) にて撮像し、賦活部位は高分解能 T1 強調 3 次元画像に重ねた。視覚刺激は、視覚 15° の円形格子縞視標を、中央の固視点を中心に 60 度の楔状にて 1 分で 360 度回転させた。賦活部位の同定には、回転角位相に応じた相互相関係数処理を行った。画像解析には Brain Innovation 社製 Brain Voyager を使用した。

結果：鳥距溝内からその周辺に接する視覚皮質に回転角に一致した賦活が観察された。

考案と結語：皮質の展開に実現と、視覚視標の改善により、生体における後頭葉視覚中枢の分離が可能であると推察された。

一質疑応答一

不二門：この研究を IT 眼症と結びつけるとしたら、プリズムを負荷して疲れた状態を作り、アクティベーションがどのようには変化するかなど、このような分解論があればいろいろやれると思うので是非やっていただきたい。

吉田：ご追加有難うございます。ご意見を参考に研究を進めさせていただきたいと思います。

石川(哲)：立体画像の疲れなどで定点を行ったり来たりする負荷も大切だが、いろいろな点へ指標を飛ばして、しかもその距離を変えて立体角のある 3 次元的な saccadic (衝動性眼球運動) でありながら、輻湊をかけるといった負荷を与えた方が、変化が脳への刺激も大きく変化も出易い。その場合先生の方法だと、どの位の範囲で刺激を行えるか、距離も含めて可能性につきご教示下さい。

吉田：本手技の欠点は、狭い MRI 装置に被験者をいれて検査するため、帯磁性装置が使えない、視角が充分にとれないという難点があります。しかし、赤緑眼鏡を用いた両眼分離による立体視刺激は実用されており、今後様々な視覚刺激の実現に向けて工夫したいと考えております。

石川(哲)：興味ある結果なので、是非お願いしたいと思う。

板東：ファクショナル MRI の利点は個人のデータが次ぎ次ぎにとれることで、小脳のサッカーなどをするときは小脳のかたちは個人個人違いこれをどうしようかと思う。それは視覚量は比較的良いと思うが、やはり形態的なものだけで分類するのは心配である。そういう意味で先生の研究は大変おもしろいと思う。

5. 調節に対する遠方化刺激の眼精疲労への効果

岩崎常人, 伊比健児, 田原昭彦

(産業医科大学眼科学教室)

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

イ上で立体像を注視する作業を15分間負荷し、その後遠方化刺激を2分間光学的に与えた。負荷と遠方化刺激の前後に赤外線オプトメーターで調節ステップ応答とオートレフラクトメーターによる屈折度の測定および段階評定による自覚症状調査を行った。遠方化刺激は、被験者の遠点を遠方化する事を目的として、風景画像を被験者の調節遠点位置に応じてフィードバックをかけながら、遠方から近方へまた近方から遠方へと等速度で動かすことで行った。対照は、同一症例で遠方化刺激の代わりに風景画像を0Dの位置に固定して行った(対照刺激)。負荷と測定並びに調査方法は同様とした。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、対照刺激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自覚症状で「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、両群とも緊張時間の延長と「眼が疲れる」、「眼が乾く」訴えの上昇があり、群間での差はなかった。遠方化刺激で遠点は、第1回目の実験では有意な変化はなかったが、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、視覚負荷による視機能の低下を軽減し眼精疲労の回復に対して有効な可能性がある。

一質疑応答一

不二門：通常両眼視しているものを片眼での測定を先生はどうお考えか。

岩崎：遠方化は両眼に行い、測定のみ片眼とした。

不二門：眼精疲労はステップ応答が一番敏感な指標であるとお考えか。

岩崎：そんなことはない。近接性の縮瞳、輻湊、調節、この3つは分離して考えるのではなく、等分されたものだと思う。今回調節だけを測定したということである。

板東：1回目と2回目の実験結果の差をどうお考えか。

岩崎：1回目は6例中4例が遠方化、2回目は全例が近方化した。この実験の趣旨からいって、遠方化と近方化がその原因の一つと考えている。

板東：慣れの可能性も考えられるが。

岩崎：勿論その可能性もある。遠方化刺激を行ったとき一次近似式で初期値をだすが、その初期値に相違があった可能性がある。であるから、順応ということも考慮に入れないといけないと思う。

横井：先生の聴取された症状であるが「疲れ・渴き」の他にどのような項目があるか。

岩崎：眼が痛い、眼が重い、充血する、涙が出るなど、全15項目である。

6. 近見調節時と類似の波面収差パターンを示した調節痙攣症例

二宮さゆり、黒田輝仁、後藤浩也
前田直之、不二門 尚、田野保雄

(大阪大学)

広原陽子、三橋俊文(トプコン)

目的：コンピューターのモニターを長時間見続けるという、過度の近見作業による眼精疲労や調節痙攣を疑う症例がある場合に、波面センサーが他覚的で簡便な診断補助検査となり得るか検討した。

方法：1)屈折異常以外に疾患を有さない矯正視力1.0以上の被験者(年齢22-38歳：平均28.7±4.4歳)33例66眼に対し、3Diopterの静的調節負荷をかけ、Hartmann-Shack波面センサー(Wavefront analyzer, トプコン社)を用いて中央直径4mmおよび6mmの領域の、全屈折の波面収差を測定した。波面収差はZernike多項式を用いてそれぞれ4次と6次まで展開し、コマ様収差、球面様収差、高次収差の総和と各係数の変化を調べた。2)サッカーボールによる頭部打撲後に調節痙攣を起こしている症例(12歳男児)の波面収差を同様に調べ、1)の結果と比較した。

結果：中央直径4mm領域において、調節負荷前ではコマ様収差、球面様収差、高次収差の総和の平均は 0.09 ± 0.04 , 0.05 ± 0.02 , 0.10 ± 0.04 (以下、単位 μm , RMS)、負荷後は各々 0.09 ± 0.04 , 0.05 ± 0.02 , 0.11 ± 0.03 と有意差はなかった($p=0.501$, $p=0.635$, $p=0.635$, 以下 Mann-Whitney Rank Sum Test)。6mm領域でも同

様に、負荷前と負荷後に有意差はなかった。しかしながら4次の球面収差 Z_4^0 の係数は4mm領域では 0.02 ± 0.02 から -0.01 ± 0.03 (Paired-t test, $p < 0.001$), 6mm領域では 0.11 ± 0.10 から 0.04 ± 0.19 ($p = 0.022$) と有意に負の方向へ変化し、反対に Z_6^0 の係数は -0.03 ± 0.07 から 0.03 ± 0.07 (Paired-t test, $p = 0.020$) と、負から正の方向に変化した。調節痙攣症例では、調節負荷をかけていない状態にもかかわらず、4次の球面収差 Z_4^0 の係数が4mm領域で右眼： -0.27 、左眼： -0.25 。6mm領域でも右眼： -0.75 、左眼： -0.60 と負の方向であった。さらに6mm領域の Z_6^0 の係数は右眼： 0.18 と左眼： 0.26 と正の方向であった。

考察：調節痙攣症例の波面収差パターンは、調節負荷時の波面収差のパターンと類似であった。

結論：波面センサーにより、調節痙攣を検出できる可能性があると思われた。

—質疑応答—

木下：赤外線オプトメーターなどで静的な調節をとった時に調節痙攣が起こるのかどうか。また、水晶体が関与している高次の収差に対しC4とかC6が大きく出てくるのですぐに鑑別できるということか。

二宮：被験者は本検査以外に調節に関する検査をしていない。調節痙攣の症状が治まったときの波面を是非とりたいと思う。この波面センサーは水晶体乱視が良くわかる検査であり詐病の診断に我々の診察以外の手がかりとして納得できる検査結果が出せるのでとても良いと思う。

不二門：C40は古典的な球面収差である。眼が努力しているとマイナスに出る。普段はプラスであり、無意識に緊張している人はオートレフと同様の取り方でマイナスに出る。非常に簡便である。

稗田：3Dの調節負荷はどのような方法で行っているのか。

二宮：市販機のものはやりにくいですが、プロト機のもの是最初にプレで眼の度数を測り、そこから検査に入るわけであるが、その段階でウムがプラス入る分を考えて4Dを荷してとった。

稗田：昨年調節をしている時は角膜の真ん中が少

しスティープになるとの発表があったが、今回角膜に変化はあったか。

二宮：有意差はなかった。

稗田：スティープになっているということはないか。

二宮：検査結果からスティープになっているとは言い切れない。もう一度検索することは可能である。

7. IT機器の人体影響評価における 調節緊張速度計測の有用性

鈴木康夫, 松田泰輔, 大塚賢二

(札幌医科大学医学部眼科学講座)

伊福部 達 (北海道大学電子科学研究
所感覚情報部門)

恩田能成 (エム・アール・システム研
究所, キヤノン株式会社評
価技術開発室)

近年、IT関連技術の進歩はめざましく、IT機器の一般家庭への普及が加速度的に進んできている。また、IT機器そのものも、新たな情報提示方式、理論が出現することによって変貌してゆくことが予想される。

このことは、現在知られている画像提示方式のみならず、未知の画像提示方式を持ったIT機器が人体に悪影響を及ぼすことへの漠然とした不安を生じさせている。

我々は人体への悪影響を未然に防ぐためのみならず、新しい機器開発へのフィードバックとしての利用も可能な「ガイドラインの作成」を目指し、種々の映像提示機器にて2次元映像、3次元映像を健康成人に提示し、映像提示方式、映像の特性が視覚系に及ぼす影響を検討した。

検討した視覚関連生理指標のうち、有意の変化を示した項目は、調節のステップ応答(ステップ量6D, AA-2000, NIDEKにて測定)に際した調節緊張速度であった。

種々の画像提示条件において、調節ステップ応答は、負荷の程度、負荷時間とよく相関する一過性変化を示し、生体影響の客観的評価に有用な指標と考えられた。

映像提示機器	被験者数	負荷映像	負荷時間	調節緊張速度			
				負荷直後	30分	60分	90分
液晶プロジェクタ (Sharp)	6	2D 映画	1 時間	—	—	—	—
液晶プロジェクタ (Sharp)	12	2D 映画	2 時間	増加	—	—	—
HMD (Olympus)	6	2D 映画	1 時間	—	—	—	—
HMD (Sony)	6	2D 映画	1 時間	—	—	—	—
HMD (Sony)	12	2D 映画	2 時間	—	—	—	—
HMD (Canon)	12	2D 映画	2 時間	—	—	—	—
HMD (Canon)	2	2D 映画	2 時間	—	—	—	—
HMD (Canon)	5	2D 映画	4 時間	低下	低下	回復	回復
立体液晶 D (MR)	3	3D CG	15 分	—	—	—	—
立体液晶 D (MR)	6	3D CG	30 分	低下	低下	低下	回復
立体液晶 D (MR)	4	3D CG(近)	30 分	—	低下	低下	回復
立体液晶 D (MR)	4	3D CG(遠)	30 分	—	低下	回復	回復
立体液晶 D (MR)	9	2D 実写	30 分	—	—	—	—
立体液晶 D (MR)	9	3D 実写	30 分	—	—	—	—
平面液晶 D (三菱)	6	2D CG	30 分	—	—	—	—

HMD：ヘッドマウントディスプレイ，立体液晶 D：直視型立体ディスプレイ，MR：エム・アール・システム研究所，
(近)／(遠)：画面に対する立体像の位置，増加／低下： $P < 0.05$

一質疑応答一

不二門：縮瞳率と調節緊張速度の相関を見た実験はあるか。

鈴木：ない。調節の準静的特性を見る実験はやったが，それでは変化は出なかった。ただ今回 15 分の CG 映像で調節負荷時の瞳孔縮瞳率に差が出ていることから，同じ負荷を行い，ステップ応答を見て速度に差が出るということは確認しなければならないことと思う。

不二門：ステップ応答は人によってばらつく。女性被験者の疲労時のばらつきと，縮瞳率とどちらのばらつきが少ないか。

鈴木：縮瞳率については男性しか調べていない。ステップ応答の速度に関し男女差はなかった。今回行ったプロジェクトは事前に時間帯，負荷映像など条件をランダムライズして，バイアスがかからない結果になっている。

梶田：ステップ応答は検査時の指示の仕方，結果に対する報酬の有無，などによって測定結果が異なる。反応を調べるには検査に対する動機付けを一定に保つ必要があるが，どのようにしているか。

鈴木：被験者はアルバイトということで募集して

いる。被験者は熟練者 3 名を 5 年間同一条件下になるようにして行った。

板東：ガイドラインを作りたいということであるが，我々が 3 年前 3 次元映像のガイドラインを作ったところ，公共機関から反対を受けた。しかし今後は各研究者が団結して国際標準の主導権をとる必要があると考える。

鈴木：ありがとうございます。

8. 眼球運動，瞳孔反応同時記録が可能な近見反応測定装置を用いた IT 眼症の評価

石川 均，清水公也，西 泰枝，
堀部 円（北里大学眼科）
石川 哲（北里研究所病院臨床環境医学センター）
袴田直俊（浜松ホトニクス株式会社）

目的：瞳孔とくに調節，輻輳負荷による計測結果は，神経眼科領域のみでなく最近流行りの IT による眼精疲労の研究などにも眼の疲労を客観的に捕らえる方法の一つとして注目されている。今回我々は赤外線電子瞳孔計（浜松ホトニクス）と

両眼開放定屈折近点計 D'ACOMO (ワック社) を組み合わせ瞳孔反応のみならず、眼球運動が同時記録可能な機器を試作し (以下ダコモイリス) 実際に測定を行ったので紹介する。

方法：オートレフラクトメータによる屈折検査、視力検査後、完全矯正下でダコモイリスにて近点と 50 cm を 3 往復させ近点、瞳孔反応、眼球運動を計測した。その後 30 分間電子メールを小型の携帯電話を用いなるべく多くの文字を打ってもらい負荷作業 (以下作業) とした。その後再びダコモイリスにて同様の測定をした。被験者には屈折異常以外に眼疾患のない健常男性 3 名、女性 4 名 (平均年齢 23 歳) でインフォームドコンセントを充分にとった後測定した。

結果：ダコモイリスによる近点は作業前 7.9 ± 0.4 (D)、作業後 8.9 ± 0.4 (D) と 1D の近視化を認めた。さらに瞳孔面積は 50 cm 遠方視時を 100% とすると近点注視時は作業前 $43.6 \pm 5.7\%$ であったが作業後 $33.9 \pm 5.9\%$ と減少した。

考察：今回眼球運動、瞳孔反応両眼同時測定が可能な近見反応測定装置を用い電子メール作成作業前後での近点の近方移動ならびに負荷時の縮瞳の増強が観察された。現在まで VDT 作業による瞳孔変化、眼球運動測定に外部指標を用い両眼同時にかつ経時的に記録可能な機器はなく、今後 IT 眼症の診断、客観的評価、経過観察に非常に有益であることが示唆された。

一質疑応答一

鈴木：私も眼球運動の定量性が低いということは感じている。何 mm という単位で現すことは非常に難しい。ただ輻輳運動量が負荷の前後で差が有るか無いかについては、どんな単位でも述べられるので良いと考えている。

瞳孔面積測定の誤差についてはかなり難しい問題点がある。我々の実験系では絶対値を使わず、変化をその都度直前のデータでのキャリブレーションをして変化量としての比較を行っている。

梶田：見ているときの調節負荷量 (矯正) を統一にすると結果に一定の変化が現れるのではないかと思うが。

石川 (均)：視力測定を行い、その値で仮メガネを

作り実験を行った。

9. 学校の情報技術 (IT) 化とエルゴノミクス課題

丸本達也 (丸本眼科)

城内 博 (日本大学大学院理工学研究科医療・福祉工学専攻)

外山みどり、齊藤 進

(独立行政法人産業医学総合研究所)

目的：インターネット利用に象徴される社会の情報技術 (IT) 化が、職域に限らず家庭や学校でも急速に進められている。平成 13 年度内にはわが国のすべての公立小・中・高等学校がインターネットに接続できるよう、環境が整備されている。本研究の趣旨は、急速に導入が進められている学校の IT 利用に関係し、現状では必ずしも視点が向けられていないエルゴノミクス上の諸課題を提起することにある。

子どものコンピュータ利用に係るエルゴノミクス上の諸課題：学校環境の IT 化は、同時に教師や子どもたちに大きな心身の負担を強いると言う側面がある。成人用に設計されたディスプレイ・キーボード・机・イス等が、学校のコンピュータ教育時に使用されている現実がある。一方、エルゴノミクスの原則は人間中心設計であり、機械がヒトに合わせるものが基本である。子どもが大人の使用する機械を使用し、機械にヒトが合わせている学校のコンピュータ利用の現状は、エルゴノミクス原則に背いていると言わざるを得ない。東京近郊の小学校におけるコンピュータ授業を解析対象とした結果からは、こどもの姿勢に関する多くの問題点が指摘されている。子どものコンピュータ授業時の姿勢を定量的に解析した結果として、短く変動の少ない視距離、12 cm 以上の足浮き状態、極端な前傾姿勢と機能していないイスの背もたれ、瞬目回数の減少等が観察されている。拘束姿勢や眼の調節機能の緊張等、筋骨格系や視覚系の過剰な負担のあることが示されている。また、19 名の児童・生徒を対象とし、学習時の姿勢と裸眼視力低下の関係を眼科学的に検討した結果からは、視力低下群では視距離の極端な短縮・近点

の延長・調節力低下等が著明に観察されており、前述した子どものコンピュータ授業時の姿勢と合わせて考えると、児童生徒の心身の発達へ与える影響の深刻さが示唆される。

結論：教育環境における IT 利用は、エルゴノミクス上の新たな課題を提起している。学校のコンピュータ利用のエルゴノミクスを巡り、国際シンポジウム開催や IEA 科学技術委員会設置等による国際的対応が始められたところである。健全な IT 社会を実現するためにも、学校やコンピュータ機器製造者等、関係各方面からの緊急なアプローチが必要であり、今後の成果に期待したい。

一質疑応答一

石川(哲)：立場上多数の児童に対するアプローチが容易であると考えられるので、是非今日の研究を続けて欲しい。米国と比べ日本は漢字の交換が必要となる。その辺の違いはどう結果に出てくるのか、今後調べてお教えいただきたい。

丸本：ご助言ありがとうございます。

10. オフィスワーカーの多数例におけるドライアイの検討

横井則彦, 木下 茂

(京都府立医大眼科)

坪田一男 (東京歯科大学眼科)

堀口俊一 (日本予防医学協会)

目的：VDT (visual display terminal) 作業に従事する時間の長いオフィスワーカーは、長時間、ディスプレイを注視するため、涙液の蒸発が亢進してドライアイを生じる可能性があるが、その現状を示す大規模の調査は行われていない。そこで、オフィスワーカーの多数例におけるドライアイの頻度とその内容について調査・検討した。

対象と方法：対象は、VDT 検診受診者 1215 例 [男性：639 例；女性：576 例；年齢：36.0±9.8 (19~73) 歳] であり、涙液検査として、シルマーテスト I 法 (S-T)、フルオレセイン breakup time (F-BUT) の測定、上皮の検査として、角膜のフルオレセイン染色 [染色所見を宮田らの AD 分類 (臨眼 '94) でスコア化] を実施した。コンタクトレンズ着用者 356 例では、レンズをは

ずして十分時間が経過したのち検査を行った。

結果：本邦での診断基準に見合うドライアイの確定例 (少なくとも 1 眼で、F-BUT ≤ 5 秒または S-T ≤ 5 mm, かつ、A1D1 以上) は 404 例 (33.3%) あり、性別 (男性：24.9%；女性：42.5%) および、コンタクトレンズの装用の有無 (無：28.9%；有：43.8%) により有意な違いが見られた (共に、 $p=0.001$)。しかし、VDT 作業時間とドライアイの確定には、有意な関連は見られなかった ($p=0.360$)。ドライアイの確定眼 610 眼のうち、F-BUT のみでの確定眼は、525 眼 (86.1%)、S-T のみでの確定眼は 33 眼 (5.4%) であった。また、ドライアイ確定例では、“眼が乾く”、“涙がでる”、“眼が赤い・充血する”が有意に多い症状であった (それぞれ、 $p=0.000$, $p=0.019$, $p=0.001$)。

結論：今回の検討で、オフィスワーカーには、高頻度にドライアイが存在していることが明らかになり、女性で、しかもコンタクトレンズを装着しているとそのリスクが高いと思われた。

一質疑応答一

不二門：検査結果はファンクショナルなドライアイが多いということか。

横井：蒸発亢進型であり、症状としては涙が出るという逆のこともあった。このことを考慮すると作業後はドライアイ状態であっても、翌日は治っているということの意味していると考ええる。つまり、負荷を起こしたときはドライアイにシフトしており、それが又治るというくり返しをしているものと思われる。

梶田：近くを見ているという状態もそうだが、ディスプレイが置かれている部屋の状況、湿度を低く保たねばならないコンピュータと高い方がよい生体、人間と機械の共存というところに問題があると思うが。

横井：今回空調は検討していない。しかしパソコン、エアコン、コンピュータは環境としてドライアイを顕性化する背景に大きくなっている。

吉田：CL のソフト、ハードについての検討を行っていただければ教えていただきたい。

横井：自己申告のアンケートではあるが、ハードとソフトで差はなかった。

11. VDT 作業者の調節微動から見た 調節機能の異常

梶田雅義, 篠原眞美, 鈴木説子

(福島県立医大)

目的：調節機能の異常が調節微動の高周波成分に良く反映することが分かってきた。

今回、VDT 作業者と非作業者の自覚症状と調節機能を比較したので報告する。

方法：福島県立医科大学医学部附属病院の委託事務職員 40 名について、作業状況、疲れの訴えの程度、および調節微動から見た調節機能異常を調査した。調節機能の測定には当教室で開発したニコン社製調節機能解析装置を用い、日常視での利眼について測定した。対象の内、1 日に 3 時間以上の VDT 作業を行っているものは、18 名であった。

結果：疲れの程度は 3 段階に分け、(-) が 8 名、(+) が 5 名、(++) が 37 名であり、VDT 作業者も非作業者も疲れの訴えが多かった。調節機能異常も 3 段階に分け、(-) が 17 名、(±) が 17 名、(+) が 6 名であり、明らかな調節異常を検出できたものは 15% であった。疲れの訴えが (++) で、調節機能異常が (+) であった 4 名はすべてが VDT 作業者であった。

結語：目の疲れを訴える VDT 作業者の中に、VDT 作業によって調節機能異常が生じている者が存在する可能性が示唆された。

一質疑応答一

前田：調節微動の高周波成分は加齢によりどう変化するのか。

梶田：高齢者になって調節ができなくても、結構微動がでている人がいる。70 歳くらいでも強い疲労を訴える人は微動が記録される。従って 60 歳まではこの方法で検査できると考える。

板東：調節微動を映像を見せる前、後で視野成分をパターン化し比較したが、瞳孔の大きさと強い相関が見られたが、先生の研究では、瞳孔に関しどうなっているか。

梶田：瞳孔は見えていない。調節緊張のある人は記録しているとき、あまり瞳孔が動かない、強い感じがする。また、平らな人は記録中に瞳孔が動くという印象がある。縮瞳についてはデータ

が取れていない。

12. アンケートで調査した屈折矯正手術の 問題点

稗田 牧, 木下 茂

(京都府立医科大学眼科学教室)

中島伸子 (バプテスト眼科クリニック)

目的：VDT 業務が特に目を酷使するといわれた時代から変遷して、現在ではあらゆる情報がコンピュータディスプレイ上で扱われるようになり、多くの仕事 VDT 業務となった。屈折矯正手術と IT 眼症の調査すべき要因を明らかにするため、まず仕事に対する屈折矯正手術の効果を把握する必要がある。そこで、屈折矯正用に開発されたアンケートである Refractive Status and Vision Profile (RSVP; 屈折状態および視力プロフィール) の日本語版を用い、特に仕事に関係すると思われる項目について、屈折矯正手術前後で比較検討した。

対象および方法：対象は 2001 年 2 月～9 月まで、バプテスト眼科クリニックで角膜屈折矯正手術を施行した 112 人である。RSVP はおのおの項目が 5 段階評価で回答され、屈折矯正に不具合があるほどスコアが増加する。RSVP の 42 項目のなかで、IT や仕事に関連があると思われる 8 項目 (仕事、近業、刺激感、乾燥感、光に敏感、痛み、視力変動、かすみ) について、術前と術後を Paired-T 検定で比較した。アンケートは術前と術後 1, 3, 6 ヶ月に質問紙により実施した。

結果：術前、術後とも正確に回答が得られたのは術後 1 ヶ月 51 人、3 ヶ月 43 人、6 ヶ月 26 人であった。「視力が原因で仕事に支障を感じるか？」という質問は、術後 1 ヶ月の時点から有意 ($P < 0.05$) に改善していた。術後 3 ヶ月では 8 項目中 5 項目、術後 6 ヶ月は 8 項目 7 項目が有意に改善していた。術後有意に増悪したのは、術後 1 ヶ月時点の「目がかすんだり曇る」という質問のみであった。

考察：テクノストレス眼症は、VDT 業務が一般化した現代では、職場環境における視機能障害ともいえる。屈折矯正術後には、目の乾燥感や近視眼症の訴えは多く、レーザーの偏心照射で眼精

疲労を誘発することも報告されている。今回の調査結果では、術後早期から仕事には良い影響が出ていることが明らかになった。そして、屈折矯正手術で問題となるのは、術後半年以内の時期に目がかすむことであった。これは、術後一過性のドライアイや遠視化が原因と考えられる。今後他覚的な所見からもかすみの原因を研究するとともに、有効な対処方法を開発することが必要である。

結論：屈折矯正手術とIT眼症の問題点として、術後早期のかすみ目への対策が必要と思われる。

一質疑応答一

三宅：臨床の現場では屈折矯正は過矯正が多いと感じる。RSVPは過矯正に評価できるか。

稗田：老視などの評価にも使われているので、可能と思う。術後かすむという症状がでていのはなぜか、と考えている。

三宅：個々の症例で過矯正の患者が何か特別に訴えていることはあるか。

稗田：過矯正の人はやはり近くが見えにくいと訴えている。それ以外の全体的な問題点を考えている。

木下：今後は屈折調節そのもののデータを取っていききたい。

13. 厚生労働省の新「VDT作業における労働衛生管理のためのガイドライン」

齊藤 進（独立行政法人産業医学総合研究所）

平成14年4月5日、新しい「VDT作業における労働衛生管理のためのガイドライン」が厚生労働省から発表された。新ガイドラインは、以下のURLで参照できる。

<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>

それに伴い廃止された旧労働省第705号通達「VDT作業のための労働衛生上の指針について」は昭和60年12月20日付けで発表されているので、17年ぶりのVDT指針改訂である。新しいVDTガイドラインが必要となった背景や新ガイドラインの特徴等を簡単に紹介する。

新ガイドライン策定の背景として、VDT作業

形態と利用機器等に係る現在の状況が、旧指針が通達された昭和60年当時とは大きな変貌を遂げていることがある。平成11年度発表の労働省「技術革新と労働に関する実態調査報告」や、中央労働災害防止協会報告「VDT作業の労働衛生管理―その現状と問題点」等により、以下の事項が指摘されている。

(1) 約98%の事業所の事務管理部門にコンピュータ機器が導入され、約39%の事業所が社内外のコンピュータとオンラインでネットワーク化している。同部門では、90%を越す労働者がVDT機器を利用しており、職場の情報技術化(IT)は今後とも急激に進展する見込みである。

(2) 職場でコンピュータを利用することにより、身体的疲労自覚症状のある労働者は約78%と極めて高率である。VDT作業者の訴えの多くは、作業空間・照明条件・機器配置等の人間工学的因子に係る内容である。

VDT作業を巡る現在の特徴をまとめると、

- ・インターネットの普及に代表される職場におけるIT化の進展
- ・VDT作業の一般化と作業従事者の拡大さらには多様なソフトウェアの普及
- ・ノート型パソコンや大型ディスプレイ等、IT機器の多様化
- ・疲労自覚症状を訴える作業者の増加

等が浮かび上がり、17年を経過した旧指針を早急に見直す必要性が認識された。そこで、平成12年12月に「VDT作業に係る労働衛生管理に関する検討会」が設置され、新ガイドライン策定についての考え方が議論されることとなった。新ガイドラインは、現在のVDT作業に係る労働衛生上及び人間工学上の諸問題を明確にした上で、作業者の心身の負担を軽減し作業者がVDT作業を支障なく行うことができるよう支援するために事業者が講ずべき措置等について示したものである。

ーコメントー

木下：皆さん是非ウェブサイトに変更箇所のご確認をお願いしたい。

第 2 回

日 時：2003 年 4 月 20 日（日）9：00～12：00
場 所：福岡国際会議場 405, 406 号

開会の辞

会長挨拶 佐野七郎（日本眼科医会会長）

班長挨拶 木下 茂（IT 眼症と環境因子研究班
班長）

座長 木下 茂（京都府立医科大学眼科学教室）

1. IT 眼症と環境因子——国際的見地から
○石川 哲（北里研究所病院臨床環境医学センター）
2. VDT 作業時の矯正が調節に及ぼす影響について
○中島伸子（バプテスト眼科クリニック）
木下 茂（京都府立医大）
中村芳子（NTT 西日本関西健康センター）
3. 高齢者の VDT 作業—眼鏡による姿勢変化—
○城内 博（日本大学理工学研究科）
丸本達也（丸本眼科）
外山みどり（独法産業医学総合研究所）
Maria Beatriz G. Villanueva（OSHC Philippines）
齊藤 進（独法産業医学総合研究所）
4. IT 機器使用による調節機能変化の検討
○梶田雅義，篠原眞美，鈴木説子（福島県立医科大学医学部眼科）
5. 近見反応時の瞳孔運動計測による IT 機器の生体影響評価
○松田泰輔，鈴木康夫，大塚賢二（札幌医科大学医学部眼科学講座）

座長 不二門 尚（大阪大学大学院医学系研究科感覚機能形成学）

6. モノビジョン症例における両眼視機能と眼精疲労の関連について
○新井田孝裕（国際医療福祉大学保健学部視機能療法学科）
清水公也，新田任里江，嶺井利沙子（北里大学眼科）
7. 学校の IT 化とエルゴノミクス—子どもたち

へのガイドラインの必要性—

- 齊藤 進，外山みどり（独法産業医学総合研究所）
丸本達也（丸本眼科）
城内 博（日本大学理工学研究科）
8. オフィスワーカーにおけるドライアイの発症とマイボーム腺との関連
○横井則彦，木下 茂（京都府立医大眼科）
坪田一男（東京歯科大学眼科）
堀口俊一，日野 孝（日本予防医学協会）
9. LASIK 術後の自覚症状と眼パラメーター
○稗田 牧，木下 茂（京都府立医大眼科）
10. 輻湊開散を伴う調節刺激の眼精疲労への効果
○岩崎常人，田原昭彦（産業医科大学眼科学教室）
- 座長** 板東武彦（新潟大学大学院医歯学総合研究科感覚統合医学講座）
11. 携帯電話メール使用前後の瞳孔反応—その 1 若年者での検討—
○内山仁志（北里大学）
原 直人，大野晃司（神奈川歯科大学眼科）
田中館明博，向野和雄，清水公也（北里大学）
12. 携帯電話 3D 映像が，縮瞳率，屈折値，眼球の球面収差（C40）に及ぼす影響
○不二門 尚，二宮さゆり，高尾泰子，細島 淳，黒田輝仁，前田直之（大阪大）
13. 携帯電話を用いた電子メール作成前後の瞳孔反応，輻輳眼球運動
○石川 均，陶山秀夫，堀部 円（国際医療福祉大学付属熱海病院眼科）
石川 哲（北里研究所病院臨床環境医学センター）
清水公也（北里大学眼科）
袴田直俊（浜松ホトニクス株式会社）
14. 映像生体影響と個人差
○板東武彦，高木峰夫，小山田 浩，植木智志（新潟大学大学院医歯学総合研究科感覚統合医学講座）
15. fMRI による TVCM 提示時における皮質反応の検討
○吉田正樹（東京慈恵会医科大学眼科学講座）
井田正博（都立荏原病院診療放射線科）

北原健二（東京慈恵会医科大学眼科学講座）
まとめ 木下 茂（IT 眼症と環境因子研究班
班長）
閉会の辞 三宅謙作（日本眼科医会副会長）

1. IT 眼症と環境因子——国際的見地から

石川 哲（北里研究所病院臨床環境医学センター）

目的：現代のオフィスでは換気が自動的にコントロールされた室内で Visual Display Terminal (VDT) を利用して業務を行なっている所が殆どである。

筆者は早期から VDT による複雑な訴えが一部シックビルディング症候群と関係することを過去に論じてきた。今回はシックビルディング症候群を最初に報告したデンマーク工科大学とのジョイント研究の一部を紹介し、本研究班の研究発展の一助としたい。

方法：日本のシックハウス症候群対策と VDT 研究の現状をさぐる。

結果：

日本での対応；特に機械システム振興協会、電子情報技術産業協会（経済産業省）

「映像生体影響研究会」、厚生科学「シックハウス症候群研究班」の研究紹介；日本および先進国でのこの問題に関する対応の研究の現状を紹介する。

考察：日本で対応すべきことは何か。

結論：将来的なビジョンに基づいた方法はいかにあるべきかにつき紹介する。

—質疑応答—

木下：今現在日本の CP が EU と比べて悪いものを出すということはあるのか？

石川(哲)：ケーブルの中にある種の重金属が入っていて、ある国のバリアーに引っかかり輸入停止があり、それらを改善したという例がある。その他機器に熱が発生すると phenol, その他の有毒ガスが発生する、それが基準値以上なら問題となる。

木下：有機燐のことで、縮瞳と散瞳の連携が悪いとはどういうことか。

石川(哲)：有機燐中毒は急性では縮瞳するが、慢性化すると最初瞳孔の大きさは不安定に動き、やがて散瞳する。しかしその瞳に強い光を当て続けると再び縮瞳する。調節でもそれが全く同じとなる。初期スパズム後に慢性化すると調節安静位が変動し、やがて近視化する。その時期を過ぎると何らかの強い負荷を行った時のみコリナージックな状態になる。そして最終的には麻痺（コリン作動性麻痺になる）することもある。したがってその時期により変化を捉えることが重要だ。

2. VDT 作業時の矯正が調節に及ぼす影響について

中島伸子（パプテスト眼科クリニック）

木下 茂（京都府立医大）

中村芳子（NTT 大阪中健）

目的：VDT 作業時の矯正が調節に及ぼす影響について検討した。

対象と方法：対象は屈折異常以外に器質的眼疾患を有さない 10 例（ 31.6 ± 4.1 歳，男性 2 例女性 8 例）の VDT 作業従事者である。方法は自覚的屈折度の 1.0D 過矯正のソフトコンタクトレンズ（以下 SCL），及び 1.0D 低矯正の SCL 上で 3 時間仕事を行い，その前後に問診，前眼部観察，赤外線オプトメータによる調節機能検査を行った。調節機能検査は遠点より +2.0D 遠方の視標を 40 秒間提示し（調節安静位），その後速度 0.2D/秒，幅 10D の等速度応答測定を行った。検討項目は調節安静位における平均屈折度と調節変動量，等速度応答における最大調節反応量とした。

結果：過矯正 SCL 装用時に問診上 10 例中 9 例に頭痛や眼痛，嘔気などの症状を認めたが，低矯正 SCL では問診上変化は認められなかった。前眼部観察で有意な変化は認められなかった。調節機能検査では，過矯正群では調節安静位における調節変動量に有意な増大を認めた（ $p < 0.05$ ）。低矯正群では調節安静位における調節変動量に有意な減少を認めた（ $p < 0.05$ ）。

考察：過矯正 SCL による VDT 作業は調節に対する影響を介して IT 眼症発症の原因となると

考えられた。また作業距離用 SCL による VDT 作業は短時間の作業では自覚症状の変化はないが、調節に与える影響を軽減させるため IT 眼症の治療に有効と考えられた。

結論：VDT 作業時の矯正は調節に影響を及ぼすと考えられた。

一質疑応答一

木下：被験者の乱視の状態はどうなっているのか？

中島：基本的には 0.5D 以下の乱視の人に行った。

板東：中高年の場合の矯正はどうするのか？

中島：作業時の眼鏡は年齢を問わず必要と考える。

測定により、年齢・個人に合わせるべきであると思う。

梶田：私も眼精疲労のある無しにかかわらず、各人により作業眼鏡の必要性を感じている。産業衛生の方で作業眼鏡が企業の経費として計上できるように働きかけていただけるとよいと思っている。

中島：実際は疲労を自覚していても、費用や他の日常生活の関係で遠方矯正メガネで我慢している人は多い。費用のバックアップがあれば、作業用眼鏡がスムーズに受け入れられると考える。

木下：近用作業の適正距離と CP 作業の適正距離が若干異なる。このことをよく考える必要があるということになると思う。

3. 高齢者の VDT 作業—眼鏡による姿勢変化—

城内 博（日本大学理工学研究科）

丸本達也（丸本眼科）

Maria Beatriz G. Villanueva

(OSHC Philippines)

外山みどり, 斉藤 進

(独法産業医学総合研究所)

目的：広く使用されている遠近両用の眼鏡は VDT 作業に不向きであることはすでに指摘されている。この研究においては、VDT 作業すなわちパソコン (PC) 作業に適した眼鏡について、姿勢に及ぼす影響の観点から実験的研究を行った。

実験方法：

- ① 55 歳以上で遠近両用眼鏡をかけ、PC 操作が出来る被験者 10 名

- ② 眼科医にて VDT 作業用眼鏡（作業者の視距離に合った焦点距離の眼鏡。以下、VDT 眼鏡）の調製、および実験前の眼鏡慣らし使用

- ③ 質問票に対する回答（年齢、PC 使用歴、一日の PC 作業時間、主な PC 用途、各実験前後での疲労感など）

- ④ 作業姿勢を計測（超音波姿勢解析装置による測定）—2 種類の眼鏡を使った場合の姿勢の変化を比較（姿勢変化を見るためのマーカーは、外眼角付近、外耳口付近、肩峰、上腕骨外側上顆、尺骨茎状突起）

- 普段使用の眼鏡と調製した VDT 眼鏡を使用しての文章転記作業
- 使用 PC：液晶 15 インチ/デスクトップ PC、液晶 12.1 インチ/ノート PC B5 サイズ（2 種類の PC での表示画面上のフォント実寸は同じ：22 字/92 mm）
- 2 種類の液晶画面の輝度は同じ：140cd/cm²、キーボード上の照度：400~500 lux
- 5 分練習作業—5 分休憩—20 分作業（10 分経過したら眼鏡交換）—10 分休憩（PC 交換）—20 分作業（10 分経過したら眼鏡交換）—10 分休憩

実験結果：

- 近用眼鏡が必要と思われる 8 名の被験者（10 名中 2 名は白内障手術後などの理由により除外）のうち、7 名においてデスクトップ PC で VDT 眼鏡使用時には首の運動範囲が小さくなる傾向が見られ、このうち 4 名では有意な差であった。ノート PC でも 6 名で小さくなる傾向が見られ、1 名は有意な差であった。
- 8 名のうち 6 名において VDT 眼鏡を使用した場合、有意に目の位置が下がることが判明した。
- 8 名の被験者のうち 6 名が、VDT 眼鏡の方が良く見えて使いやすいと答えた。
- 10 名の被験者全てが、デスクトップとノート PC を比べて、デスクトップが使いやすいと答えた。
- 3 ヶ月後の調査では 7 名が実験で調整した眼鏡を VDT 作業時に使用していた。

考察：

- VDT 眼鏡により首の運動範囲が小さくなり、伸び上がりもすくなることは、首や肩のこりなどの予防、軽減に役立つものと思われる。また、高齢者で頸部脊椎症がある場合など特に効果が期待できる。
- 高齢者が長時間 VDT 作業をする場合には、デスクトップ PC を使用し VDT 眼鏡を掛けることが推奨される。

一質疑応答一

石川(哲)：使用したメガネは累進のメガネか、それとも 2 重焦点眼鏡か。

城内：下の方でしか画面が見えないので、どちらでも姿勢には関係ないとした。

石川(哲)：デスクトップの場合、目より上にブラウン管があるのか、それとも目より下か。

城内：低い位置である。

木下：デスクトップ、ラップトップで画面の大きさは同じか？

城内：ラップトップが 12 インチ、デスクトップが 15 インチと画面の大きさは異なるがフォントは同じである。

不二門：遠近両用メガネにも移行帯をどこに置くかという問題がある。近々や中近などメガネの種類もあり、移行帯がかなり高いところにあれば頭の動きも少なくてすむと思うが。そういう観点でメガネを変えて今後研究する予定はあるか？

丸本(共同研究者)：パソコン経歴も様々な人たちであり、近々両用 (50 cm と 30 cm)、中近両用 (1 m と 30 cm)、単焦点レンズ (近用) も併せて説明し、移行帯の部位も含めて各人にメガネを選んでもらった。高次中枢の方で慣れがあるようなので、こちらからレンズの強制はしなかった。

城内：今後の研究については経費のこともあり、具体的には決まっていない。

4. IT 機器使用による調節機能変化の検討

梶田雅義, 篠原眞美, 鈴木説子

(福島県立医科大学医学部眼科)

目的：比較的短時間の IT 機器操作が、調節機能にどのような変化をもたらし、その変化をどのような方法で検出できるかを検討した。

対象と方法：ごく軽度の屈折異常以外に眼疾患を有しない有償ボランティア 16 名 (女性 12 名, 男性 4 名, 年齢 22~28 歳) を対象とした。完全矯正状態で、30 分間ビデオゲームを行なった前後に、オートレフを用いた他覚的屈折値、および前回報告した調節機能解析装置を用いた調節微動の高周波成分出現頻度と調節反応量を測定した。解析には対象が日常視で利目と感じている眼を用いた。

結果：作業開始直前、および作業終了直後に測定した他覚的屈折値の平均値はそれぞれ、 $-0.91 \pm 0.68D$ 、および $-0.85 \pm 0.67D$ であり、平均値は遠視化を示したが、有意な変化ではなかった ($p=0.495$)。また、 $0.75D$ 以下の調節状態における調節微動高周波成分出現頻度の平均値はそれぞれ、 53.64 ± 2.56 、および 56.00 ± 5.71 であり、作業後に、わずかながら上昇する傾向が観察された ($p=0.094$)。調節負荷が $+0.5 \sim -3.0D$ の範囲内での調節反応量はそれぞれ、 $1.85 \pm 0.48D$ 、および $1.91 \pm 0.47D$ であり、平均視は増加していたが、作業による影響は認めなかった ($p=0.554$)。16 例中、最も変化の著しかった者では作業後に、屈折値は $0.13D$ 近視化を示し、調節反応量は $0.82D$ 増加し、調節微動は下図のように変化した。

考察：今回の対象における作業後の他覚的屈折値の変化は平均値では遠視側にシフトしていたのは、対象を日常生活に眼鏡を使用していないものに限定したためかも知れない。調節反応量には変化を認めなかった。調節微動の高周波成分出現頻度は、わずかながら上昇傾向を認めたが、全例を平均して観察する限りでは、短時間の IT 機器使用による影響を鋭敏に検出することは困難と考えられた。

結論：ビデオゲームを 30 分間行なう程度の軽い調節負荷の影響は、他覚的屈折値や調節反応量

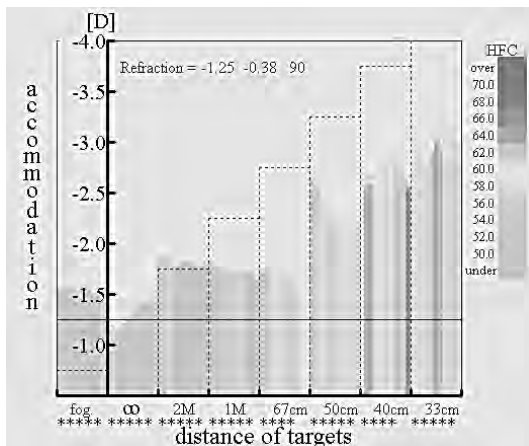
の変化では検出しにくい。最も期待していた調節微動高周波成分を用いた方法でも、作業前後の変化の検出は危険率5%で棄却された。しかし、眼が疲れやすいと訴えていた対象の中に、調節微動に著しい変化を認めた例を検出した。

一質疑応答一

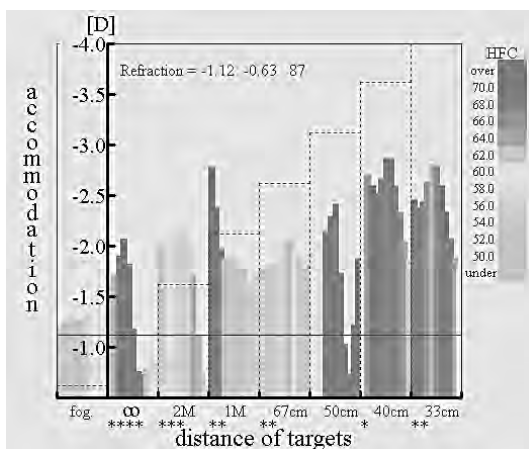
鈴木：非常に値の増加した症例があるが、その人の近視度はどうであったか？ その後の経時的な値の傾向はみているか？

梶田：屈折値は-1.68, 乱視は0.25, 球面が1.5, 外から見ると普通の近視眼である。本人も日頃疲れやすいという以外の訴えはなかった。1度だけの実験に参加していただいたのでその後は見ていない。

板東：パワースペクトルは積分されたわけだが、



作業前の Fk-map



作業後の Fk-map

積分されるとあまり差は現れない。元のデータを見て考えていたが、全体の傾向として個人差がある。個々の人については負荷をかける前はどこかにピークがある。2つか3つのこともある。調節振動が固有の周波数を持っている。しかし負荷をかけるとそれが潰れてきて積分値としてはあまり変わらないと思うが、ピークが低くなるというデータが出た。積分されないで元を見てみるともう少し変化が出ると思うが、どうか。

梶田：積分してようやく数値として見やすくなった。負荷をかけすぎると殆ど変化がなくなってしまふ。3D以上の負荷をかけると正常の人も異常の人も同じ反応を示してしまう。先程示したように調節反応量が0から0.75位のところが一番反応しやすいような印象を持っている。そこで高周波成分の出現頻度が高い人というのはやはり疲れやすいという訴えをしており、自覚的症状と非常に良く相関するという印象がある。調節負荷をかけすぎると、調節微動の症例による差が全く解らなくなってしまふ。

不二門：先生の機械も是非他の施設でも使えるよう検討していただきたいが、見通しはいかがか。

梶田：開発のニコン社が4月から全く眼科部門から撤退した。契約解消とともに他の企業から製作についての依頼が来ている。秋の臨眼に間に合うように製品化したい。是非皆さんにチェックしていただき、より良いものに仕上げたい。

中島：異常を呈した-1.5Dの症例であるが、私の実験でもその人がどのような状態で生活をしているかで、負荷前後の反応に差があり、特に-1.5から-2Dの患者の場合、普段裸眼で生活している場合は+1の近用に合っているはずのメガネでも普段から比べると過矯正となり悪い結果が出た。そういうことはなかったか？

梶田：若干過矯正のメガネを使用していたという印象はある。自覚的に測るとその値に落ち着いてしまい、私であれば、それほど強いメガネを処方しないという印象を持った。

5. 近見反応時の瞳孔運動計測による IT 機器の生体影響評価

松田泰輔, 鈴木康夫, 大塚賢二

(札幌医科大学医学部眼科学講座)

目的：我々は3D映像が生体に及ぼす影響を評価する研究の一環として3D映像負荷前後における近見反応時の瞳孔運動を近見反応検査装置（浜松ホトニクス製の試作機）を用いて検討し、15分間のコンピュータグラフィクス（CG）による3D映像の負荷が近見反応時の瞳孔運動を減衰させることを昨年度の本研究会において報告した。今回我々は、この近見反応時の瞳孔運動とこれまでの報告で映像負荷による影響が生じやすいとされてきた調節のステップ応答とを同一被験者群で比較し、その有用性を検討した。

方法：屈折度が、 $\pm 0.5D$ の健康成人8名（18歳から25歳、平均20.5歳、男性、女性各4名）を対象とした。昨年度の負荷実験と同一の画面角29インチの3Dテレビ（29N3D, 3D Television）と液晶シャッター式眼鏡（60GX, Nu-Vision）を用いて、CGによる3D映像と実写の3D映像（各約4分間）を交互に計30分間負荷した。映像負荷前後の近見反応時の瞳孔運動は前述の近見反応検査装置（浜松ホトニクス）を用いて、調節のステップ応答はAA-2000（NIDEK）を用いて計測した。近見反応を誘発する調節刺激の速度は前回と同様の0.3D/秒とし、振幅は6Dと8Dの2種類とした。各々の調節負荷を各3往復（遠1→近1→遠2→近2→遠3→近3→遠4）加え、初めと最後を除く2往復（近1～近3）を解析した。解析項目は、両眼の瞳孔径とした。調節のステップ応答はステップ量を6D, 8Dとし停止時間5秒で加えた調節負荷に対する調節応答を各眼6回測定した。

結果：振幅8Dの調節負荷による測定パラメータでは近見反応検査装置による瞳孔径縮小率の平均値が3D映像負荷前の51%から映像負荷後には48%となり有意の低下を示した（ $N=16, P<0.05$, 対応のある両側t検定）が他の瞳孔運動のパラメータ、調節のステップ応答のパラメータには映像負荷前後で有意の変化は認められなかった。振幅

6Dの調節負荷による測定パラメータには3D映像負荷前後で有意の変化は認められなかった。

結論：調節ステップ応答に有意の変化をきたさない立体映像負荷で、近見反応時の瞳孔径縮小率が有意に低下した。近見反応時の瞳孔運動計測は、映像呈示機器の視機能への影響を調節のステップ応答検査より鋭敏に検出する可能性があり、近見反応検査装置による瞳孔運動計測はIT眼症の定量評価を行う際に有用と考えられる。

一質疑応答一

平岡：20歳代の被験者に近点を全くチェックしないまま一方的に6D, 8Dと設定されたのか？

松田：近点は近見反応検査装置で自覚的な近点を測定し、またAA-2000のLinear応答測定モード（視標速度0.2D/秒）を用いて他覚的な近点を実験前に測定している。

平岡：私のデータでは、20歳代であると8Dよりも10Dで顕著な変化が出る。もう少し負荷をかけてみると良いと思う。

松田：10Dまで実験前にやってみたが、視標をクリアに明視できる被験者がなかなかいなかった。それで今回8Dに設定した。

平岡：最大調節量という定義をする時の問題だと思うが、私の実験では調節反応がおこるまでのラグを考えて（クリアに明視できるDiopter+1D）という最大負荷をかけてやった。明視できる点が調節に対する最終点ではなく、1D負荷してやるとより明らかな差が出たのではないか。

6. モノビジョン症例における両眼視機能と 眼精疲労の関連について

新井田孝裕（国際医療福祉大学保健学部視機能療法学科）

清水公也, 新田任里江,

嶺井利沙子（北里大学眼科）

目的：モノビジョン法は一眼（優位眼）を遠見に他眼（非優位眼）を近見に矯正する老視治療の一つであるが、人工的に不同視の状態にさせるため両眼視機能への影響は無視できない。北里大学病院では眼内レンズによるモノビジョン法を3年

前より行っており、多くの症例で術後高い満足度を得ているが、中には近見での見えにくさや眼精疲労を訴える症例も存在する。今回、視力、両眼視機能と眼精疲労の関連について満足度のアンケート調査を含めて検討した。

対象と方法：当院で両眼白内障手術時にモノビジョン法を施行し術後3ヵ月以上経過した57例（男性11例、女性46例、平均年齢67.5歳）をアンケート結果より満足群（n=41）と不満足群（n=16）の2群に大別し、屈折差、遠見、近見、両眼開放視力、近見立体視機能（TST）を比較した。

結果：平均屈折差は満足群で 2.53 ± 0.65 、不満足群で 2.64 ± 0.61 と明らかな有意差は見られなかったが、不満足群で不同視量が大きい傾向を示した。遠見視力では両群で差は見られなかった。一方近見矯正眼の裸眼視力は両群とも0.79であったが、両眼開放視力は満足群で0.83とやや増加が見られたのに対し、不満足群では単眼視力と同値であった。TSTでは不満足群で200sec以上を示した症例が3例存在した。不満足群ではアンケートで近見時の見えにくさや違和感（69%）、眼精疲労（63%）を訴えるものが多く見られ、眼鏡使用率は86%であった。

考案：不満足の原因として、不同視量が大きいこと、近見立体視の不良、眼優位性が強いために固視交代が円滑にできず近見時に優位眼のボケを十分に抑制できないことなどが影響していると考えられた。

結論：高齢者でパソコンに長時間接する症例は少なかったが、読書や裁縫など近見作業時の訴えが多く、近見での視機能を良好に保つことがモノビジョンでは重要である。一眼のボケの処理には大脳皮質での適応や選択的注意、縮瞳に伴う焦点深度、眼優位性の強弱等が関与しているものと思われる。

一質疑応答一

不二門：生データを見ると Binocular Inhibition であるが、Inhibition が近見時に強い人は眼精疲労が強いという感じであったが、どうか。

新井田：ご指摘のような傾向を認める。

不二門：それは遠見時では Binocular Inhibition

は効いているのか。

新井田：不満足を訴える症例、特に眼優位性の強い症例では時々みられる。

不二門：遠見と近見はデータとして同じ傾向と考えてよろしいか。

新井田：近見の方が強いと考えられる。このことが近見時の見えにくさや眼精疲労につながっていると思われる。

7. 学校の IT 化とエルゴノミクス

一子どもたちへのガイドラインの必要性一

齊藤 進, 外山みどり

(独法産業医学総合研究所)

丸本達也 (丸本眼科)

城内 博 (日本大学理工学研究科)

1. はじめに

情報技術 (IT) は、21 世紀初頭を飾る時代のキーワードである。インターネット利用に象徴される IT 化は、職域に限らず家庭や学校でも急速に進められている。学校環境が社会の情報化に適切かつ迅速に対応することは大切なことではあるが、学校への IT 教育導入に際し、子どもたちの視覚系や筋骨格系負担及び IT 機器や使用環境等に関わる人間工学的視点が欠落していることが深刻に懸念される。

2. VDT 機器利用のエルゴノミクスに関する最近の特徴

情報化職場にみられる最近の特徴として、ディスプレイの大型化と、ノート PC 利用の増加を指摘することができる。

19 インチサイズがデファクトスタンダードになると予測されているディスプレイの大型化は、机上スペースを減少させるだけではなく、利用時の姿勢にも影響し、筋骨格系の負担を増加させることが、われわれの実験結果からも示されている。

一方、ノート PC 利用の増加は、眼とディスプレイ間の視距離の短縮、拘束された利用時の姿勢、視覚疲労等の原因となる。これらの特徴は、IT 職場の成人労働者のみならず、むしろ成人用に設計された IT 機器に合わせて利用せざるを得ない子どもたちに、より深刻な解決すべき課題を引起

している。

3. IT利用のガイドライン策定の提案

教育環境におけるIT活用は、エルゴノミクス上の新たな課題を提起している。学校や機器製造に携わる関係者等、各方面からの緊急なアプローチが必要と考えている。国際的には、1980年代末のスウェーデンにおける問題提起を嚆矢とし、日本人間工学会やジョンスホプキンス大学におけるシンポジウム等が注目される。IT眼症と環境因子研究班の成果の一つとして、眼科学的知見を含めた学校のIT機器利用に関する分かりやすいガイドラインの策定を提案したい。

—質疑応答—

石川(哲)：エルゴノミクスの立場から成人に対してはある程度ガイドラインが出たが、その子供用を作るのは大いに賛成だ。眼精疲労に関することや屈折などは、眼科医は得意であるが、筋骨格系、精神神経の問題になると眼科医は弱い部門になるであろう。そのあたりを眼科医師も理解して、産業医学の先生方と協力していけば、良いガイドラインが出来ると思う。

佐野：昭和60年頃、テレビ局の依頼で小学5、6年生6名を対象に実験をした。その結果、負荷後3時間で「目がしみる」という訴えがあり、診るとびまん性表層角膜炎をおこしていた。子供を使う実験は人権のこともあり非常に難しいが、是非継続して行っていただきたい。

斉藤：石川先生の発表の中でも子供の頭痛・肩こりなどの筋骨格系の話が紹介されていたが、可能であれば子供のためのガイドライン作成を日本眼科医会とともに進めていきたい。

8. オフィスワーカーにおけるドライアイの発症とマイボーム腺との関連

横井則彦, 木下 茂

(京都府立医大眼科)

坪田一男 (東京歯科大学眼科)

堀口俊一, 日野 孝

(日本予防医学協会)

目的：本会の第1回において、VDT作業時間の比較的長いオフィスワーカーにおいてドライ

アイが高頻度(320名/1025名：31.2%)に存在すること、およびドライアイのタイプとしては蒸発亢進型が大半を占める(85.5%)と考えられること、リスクファクターとして、コンタクトレンズ装用と女性があることを報告した。そこで、今回、蒸発亢進型ドライアイと関連の深いマイボーム腺の異常とドライアイ発症との関連について検討した。

対象と方法：対象は、オフィスワーカー189名(男性：97名、女性：92名；年齢：36.1±9.3歳)であり、検査として、シルマーテストI法(S-T)、フルオレセインbreakup time(F-BUT)の測定、角膜のフルオレセイン染色[AD分類(宮田ら、臨眼'94)にてスコア化]、マイボーム腺検査[拇指にて上眼瞼の外、中、内1/3を圧迫し、圧出油の量スコア(1：正常；2：圧出されにくい、正常より多い；3：圧出されない)および、粘稠度スコア(1：正常；2：不透明だが粘稠でない；3：不透明で粘稠；4：かなり粘稠)をそれぞれの圧迫部で求めて両眼で合計し、量と粘稠度のそれぞれに分けて検討]を実施した。

結果：ドライアイの確定例(83例：少なくとも1眼で、F-BUT≤5秒またはS-T≤5mm、かつ、A1D1以上)では、正常例(28例)に比べてマイボーム腺の量スコアが有意に高かった(それぞれ、8.5±2.7、7.3±2.0；p=0.025)。また、量スコアの異常例(125例：左右眼の上眼瞼圧迫部の1ヵ所以上で量スコアが2以上)では、正常例(64例：左右眼の圧迫部すべてで量スコアが正常)に比べてドライアイの確定例が有意に多かった(p=0.004)。

考察：オフィスワーカーのドライアイ発症には、VDT作業、コンタクトレンズ装用、既存のマイボーム腺機能不全などの多くの因子が関与している可能性がある。

結論：オフィスワーカーにおけるドライアイの発症には、マイボーム腺の油の量の異常も要因の1つになっていると考えられた。

—質疑応答—

不二門：ドライアイは眼精疲労の一つの側面として大事であると思うが、年齢についての因子が大きいと思う。今回年齢についての検討はどう

されたか。

横井：以前オフィスワーカーの多数例について年齢とドライアイの確定との関連について検討したが、有意差はなかった。

9. LASIK 術後の自覚症状と眼パラメーター

稗田 牧, 木下 茂

(京都市立医科大学眼科学教室)

目的：前回の研究会で屈折矯正手術と IT 眼症の問題点として、LASIK 術後早期にはかすみ目が問題であることを報告した。しかし、自覚的なかすみとして感じられる現象のメカニズムについては多様な原因が考えられる。今回我々は、術後アンケートにおけるかすみという訴えと、残余屈折度、高次収差、瞳孔径、などとの眼パラメーターの関係について検討をおこなった。

対象および方法：対象は近視および近視性乱視矯正 LASIK を施行された症例の中で、Refractive Status and Vision Profile (RSVP) の回答が術前と術後 3 ヶ月に得られていた 30 症例である。レトロスペクティブにアンケートでかすみという症状の悪化度と、術後の残余球面度数、乱視度数、散瞳剤を使用し瞳孔径 6 mm で測定した高次収差 root mean square (RMS)、瞳孔径、眼軸長といった眼パラメーターとの相関関係を検討した。眼パラメーターは右眼を採用した。

結果：かすみ症状のスコアは平均では術前 1.58 ± 1.24 から術後 1.88 ± 0.95 と悪化していたが、有意な差ではなかった。悪化したのは 30 症例中 13 例で、不変が 13 症例、改善が 4 症例であった。このスコアの変化に有意な相関を示す眼パラメーターは存在しなかったが、Spermann 相関係数は高次収差 RMS が 0.28 ($P=0.067$) と最も高く、ついで残余乱視度数が 0.28 ($P=0.080$) とそれに続いていた。

考察：今回の検討は、かすみ症状の悪化度と術後高次収差に関係がある可能性を示唆した。LASIK 術後には高次収差が誘因されることは既に明らかになっており、屈折矯正術後に訴えのある症例では、特に高次収差の増加が著しいことも報告されている。また、術後高次収差は 1 ヶ月以

内をピークとして術後半年の間に減少して安定する経時変化があり、これはかすみ眼の症状と一致する傾向にある。今後症例数を増やして検討することで、この傾向はより明らかになるものと考えられた。

結論：屈折矯正 LASIK 術後には、高次収差の変化がかすみという症状の原因になっている可能性がある。

—質疑応答—

不二門：IT ということを考えると、近見時のかすみとドライブする時のかすみを別に考えた方が良いと考えるが、今回のかすみは特に近くを見た場合、などというように項目を分けているか。

稗田：分けられていない。「目がかすむ」というスコアがアンケートで一番多かったので、それに関し原因を検索してみた。レーシック術後の視機能については解っていないことが多いので、もっとも差が出そうところから調査してみた。今後、近見時に特異的な項目のみでも検討したい。

不二門：一過的に近くが見えにくいと訴える人が 35 歳を過ぎると居ると思うが、そういうことと、定常的な状態になった時に近くを見た時のかすみ・眼精疲労という問題を別の項目として扱うと IT という観点からは情報が得られると思う。

10. 輻湊開散を伴う調節刺激の眼精疲労への効果

岩崎常人, 田原昭彦

(産業医科大学眼科学教室)

目的：輻湊開散からの刺激に基づき、光学的に調節を刺激する装置を新しく試作し、その装置の眼精疲労に対する効果について実験的に検討した。

方法：

〈装置の概要〉装置は、他覚的屈折度計と左右両眼用の視標呈示システムから構成される。システム内の両視標は、被験者の屈折度より求めた各調節遠点の位置を起点として、 $+0.2$ D 遠視側に 0.25 D/s の速度で移動する。同時に両視標は、 $+0.5$ 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1秒間停止する。再び同様に遠点から $+0.2\text{ D}$ の遠方位置まで移動する。この繰り返される正弦波様の視標移動を注視されている間、片眼の屈折度が測定される。遠点が偏位した場合には、両視標をその偏位分に応じた位置に移動させ、屈折度の変化に応じてフィードバックがかけられる。

〈実験手順〉女子学生8例に対して、3-Dディスプレイ上で立体像を注視する作業を20分間負荷し、その直後に上記の装置で調節への刺激を90秒間与えた。負荷と刺激の試行前後に赤外線オプトメーターで調節ステップ応答の測定および段階評定による自覚症状調査を行った（刺激群）。対照は、同一被検者に対して負荷終了後、装置による刺激の代わりに閉眼安静を90秒間施行し、同様の測定・調査を行った（対照群）。

結果：対照群の試行前後での、平均調節緊張時間は 1.26 s と 1.62 s 、平均調節弛緩時間は 1.49 s と 1.63 s でいずれも試行後有意に延長した（各 $P=0.0114$ 、 $P=0.0166$ ）。近方調節lagの平均値は 0.50 D と 0.65 D 、遠方調節lagは 0.16 D と 0.32 D で両者ともに試行後有意に増大した（各 $P=0.0415$ 、 $P=0.0176$ ）。また、「眼が疲れる」と「眼が重い」、「眼が乾く」自覚症状の評定点が有意に上昇した。しかし、刺激群では試行前後で、緊張時間は 1.26 s と 1.40 s 、弛緩時間は 1.43 s と 1.39 s 、近方lagは 0.57 D と 0.52 D 、遠方lagは 0.15 D と 0.26 D で有意な変化はなかった。また、全ての自覚症状も有意な評定点の上昇はなかった。

結論：今回試作した装置は、視覚負荷によって生じる調節機能の低下と自覚症状の上昇を回復させ、眼精疲労に効果のあることが分かった。

一質疑応答一

鈴木：先生は時間で判定していたが、時間は調節の幅（Width）と速度（Velocity）に影響されるので、調節幅の半分あたりの速度、いわゆるAA-2000を用いた際のGRADで見られた方がもう少しきれいに有意差が出たのではないかと思う。その値を使わなかった理由は何か。

また、面白い装置であるが、実際に負荷をかけている時に眼球運動は起きているのか。

岩崎：肉眼的には非常に注意してみないとわからない程度に起きている。調節時間を解析したのは、全員の平均波形をみると立ち上がりの反応のカーブが遅くなっていたので、横軸の時間で解析することにした。

平岡：最初の出発点に遠点を選んだのは、なぜか。眼精疲労を考えるのであれば、遠点よりもう少し近い点から往復したら、効果があったのではないか。

岩崎：実験の目的は視覚負荷による調節の緊張を緩和させること、弛緩の方向に行かせることであり、最大限に弛緩していると考えられる調節遠点を起点にして遠方にまず行った。

平岡：調節の安静位は遠点にあると考えておられるのか。

岩崎：そうは考えていない。視覚負荷によって調節が緊張するので、調節安静を起点とするよりも、その緊張分を緩和させるために調節遠点から遠方に調節刺激を与えて、なおかつ解剖学的眼位の方向に開散させるという方法をとった。

平岡：私は解剖学的に交感神経と副交感神経のレセプターの毛様筋の中の分布を見ているが、遠方調節に対しては毛様筋の縦走筋が積極的に収縮し、むしろ遠方に水晶体嚢を牽引し、近方に関しては毛様筋の輪状部が収縮して嚢を角膜方向へ牽引すると考えられるので、遠方についても積極的に筋肉の収縮があると考えている。

岩崎：私もそうなら面白いと思うが、縦走筋の機能的役割が明確ではないので、輪状筋を主体に考えた。

11. 携帯電話メール使用前後の瞳孔反応

—その1 若年者での検討—

内山仁志（北里大学）

原 直人、大野晃司

（神奈川歯科大学眼科）

田中館明博、向野和雄、

清水公也（北里大学）

目的：IT 機器で現在もっとも普及している携

携帯電話は、身近な情報伝達ツールとして若年層ばかりでなく、幅広い年齢層で定着してきている。今回我々は、携帯電話のメール（以下携帯メール）の使用前後の瞳孔機能への影響を検討したので報告する。

対象と方法：遠見裸眼視力 0.7 以上の軽度な屈折異常以外に器質的な眼疾患を認めない大学生 9 名（平均年齢 21.0±1.22 歳）に対して、新聞記事を携帯メールに打ち込む視作業を負荷した。視作業の負荷前後にイリスコーダ（浜松ホトニクス社製 C7364）を用いて、瞳孔運動（対光反応測定および、瞳孔反応連続測定）を記録した。対光反応は、10 分間の暗順応後に測定し各インデックスの比較を行った。連続測定では、遠方視標（5 m）、近方視標（33 cm）を 1 分間ずつ交互に固視させて瞳孔径の変化を解析した。これを作業前後で測定し比較検討した。

眼精疲労の自覚的症状との一致を検討するため、被験者全員に作業後に Wong-Baker によるフェイススケールと簡単なアンケートを施行した。

結果：今回の負荷作業で疲労を感じたのは 9 例中 3 例で、疲労度としては最も軽度であった。瞳孔の連続測定上、この 3 例は疲労のなかった群と比べ、負荷前の初期瞳孔径、縮瞳率が小さい傾向にあった。また、この 3 例は負荷後に優位眼で平均瞳孔径（遠見、近見）、縮瞳率 [1-（近見瞳孔径/遠見瞳孔径）] の増大が見られた。

対光反応については、全例を通じて、T5（瞳孔が最小から散瞳して、最小値の 63%まで回復するのに要した時間）の優位眼の結果が負荷前後においてばらつく傾向にあった。

考察および結論：20 分間の携帯メール作業は自覚的疲労度としては軽度であり、眼精疲労を訴える人はそもそもの瞳孔径、縮瞳率が小さく、優位眼を主に使用している可能性がある。また、交感神経系への何らかの影響も示唆された。今後、老視群被験者で同様の実験を行い（その 2）、比較検討していく予定である。

一質疑応答一

不二門：瞳孔径は疲れて眠くなって小さくなるのと、映像を見て興奮して大きくなるのと両方あると思う。N が少ない状態で瞳孔径の負荷が

大きくなるというのは言い過ぎかと思う。もう少し N を増やして、人によって反応が違うということ踏まえて更に検討したら良いと思う。

板東：対光反射はブローダールの本によると副交感支配の方が強いのではないか。近見反射の場合は今交感神経への影響が大きいと発表されたが、交感神経系は…。

内山：負荷前後での比較において、副交感神経系のインデックスには変わりがなく、交感神経系のインデックスである T5（瞳孔が最小から散瞳して、最小値の 63%まで回復するのに要した時間）だけ特に優位眼だけにバラツキが見られた。

鈴木：近見反応を見る時には優位眼と非優位眼を単眼で負荷して測定したということか。それとも両眼開放で近見反応をさせてその時、両眼の瞳孔径を同時記録してそれに左右差があったということなのか。

内山：片眼ずつを右眼、左眼とくり返した。

鈴木：刺激は両眼開放刺激か。

内山：両眼開放刺激である。両眼ゴーグル型なので常に両眼視が出来ている状態で、それを 2 回遠見近見と左右眼に行った。

鈴木：その時には優位眼を先にやるか、非優位眼を先にやるかをランダム化しているのか。

内山：被験者によっていろいろ変えている。再度とり直している例もあるが、それは逆からとっても同じ傾向がみられた。優位眼からとっても、非優位眼からとっても傾向としては同様の瞳孔の所見がみられた。

鈴木：ということは同一の負荷を加えた近見反応で瞳孔の動きに明らかに左右差があるということか。

内山：今までの症例数からはそのような結果となった。

鈴木：それに関し先生はどのようにお考えか。

内山：携帯電話を使うということに関しては、片眼を主に使用しているということが考えられるのかと思う。

鈴木：しかしそれは入力系の問題であり、出力としての瞳孔運動とは関係ないのではないか。

内山：反応として、どのように変化するかという

のを見ているので、その負荷前後で携帯の作業自体が瞳孔の運動面（出力系）にどういった形で作用していくのかということが、今回見られたのではないかと思う。

板東：多分近見反応は大腦をまわってくるから、右と左と瞳孔は言われているほど同じでないと思っているが、ちゃんとしたデータがないので、はっきりしたことは言えない。しかし可能性としてはあるのではないかと思う。ただ例数をもう少し増やさないと、かなりバラツキもあるのではないかと思うので。

12. 携帯電話 3D 映像が、縮瞳率、屈折値、眼球的球面収差 (C40) に及ぼす影響

**不二門 尚, 二宮さゆり, 高尾泰子,
細島 淳, 黒田輝仁, 前田直之 (大阪大)**

目的：前回の報告で、調節痙攣患者の球面収差 (C40) は、調節時と同様に、その係数が負に変化していることを報告した。そこで今回は、携帯電話 3D 映像をみて、自覚的に眼精疲労を感じた時の縮瞳率、屈折値、球面収差 (C40) がどのように変化するかについて検討した。

方法：裸眼にて視力 1.0 以上、もしくはソフトコンタクトレンズ装用にて 0.9 以上の視力を有する被験者 9 人 18 眼において、携帯電話に表示された 3D 画面を 10 分間負荷する前・後について、自覚的に感じる眼精疲労に関しては、アンケート調査を行った。瞳孔の縮瞳率は浜松ホトニクス社製イリスコーダー C7364、眼の屈折値および球面収差はトプコン社製波面センサー KR9000PW を用いて調べた。

結果：被験者は 3D 負荷後、自覚的に眼精疲労を感じていた。他覚的検査では縮瞳率は負荷前 $40.99 \pm 11.12\%$ 、負荷後 $41.02 \pm 9.45\%$ 、屈折値は負荷前 $0.02 \pm 0.03D$ 、負荷後 $0.02 \pm 0.04D$ 、C40 成分は負荷前 $0.019 \pm 0.029 \mu mRMS$ 、負荷後 $0.022 \pm 0.037 \mu mRMS$ で、負荷前後いずれにも有意な差が無かった。

考察：短時間の携帯電話 3D 映像の 10 分間負荷は、自覚的には眼精疲労を感じても、他覚的な検査にて調節痙攣時にみられるような明らかな変

化は認められなかった。

結論：携帯電話の画面に表示される 3D 映像は、連続 10 分間程度見るのであれば、視覚系への負荷は大きくないと考えられた。

—質疑応答—

木下：球面収差のネガティブの最初の 2 例であるが、あれの赤外線オプトメーターかなにか調節波形をとっているか。

不二門：やっていないが、予想できることはオートレフラクトメーターを 10 回くらいやるとものすごくバラツク。準静的な波形をとると視標がこう動くのに対し、揺らいで調節リードのような格好になっていることが予想される。

13. 携帯電話を用いた電子メール作成前後の瞳孔反応、輻輳眼球運動

石川 均, 陶山秀夫, 堀部 円
(国際医療福祉大学付属熱海病院眼科)

石川 哲 (北里研究所病院臨床環境医学センター)

清水公也 (北里大学眼科)

袴田直俊 (浜松ホトニクス株式会社)

目的：昨年の本研究会において両眼開放定屈折近点計 D'ACOMO (ワック社) に赤外線電子瞳孔計 (浜松ホトニクス) を組み合わせ瞳孔反応、眼球運動が同時記録可能な機器 (ダコモイリス) を紹介した。今回携帯メール作成前後に同機器を用い瞳孔反応、輻輳眼球運動を測定し前後で比較したので報告する。

方法：被検者は屈折異常以外に眼疾患のない健康男性 3 名、女性 7 名 (平均年齢 25.3 歳) とした。インフォームドコンセントをとった後以下の測定を行なった。オートレフラクトメータによる屈折検査、視力検査後、完全矯正下でダコモイリスにて近点計測。50 cm (2D) 注視時と各個人の近点を 7 往復させ瞳孔反応、輻輳眼球運動を計測した。その後手持携帯電話を用い 30 分間電子メールを眼前 10 cm でなるべく多くの日本後文字を休止なく打ってもらい負荷作業とした。その直後再びダコモイリスにて個々人の近点を変わらずに同様の測定をした。

結果：近点は 9.4 ± 0.3 Dであった。瞳孔直径は作業前 50 cm 注視時 5.1 ± 0.3 mm。作業後 5.2 ± 0.3 mm。近点での瞳孔直径は作業前 2.7 ± 0.1 mm, 作業後 2.5 ± 0.1 mm でいずれも作業前後で有意差を認めなかった。作業前は指標の動きと輻輳眼球運動、瞳孔反応は完全に同期し、記録上すべて三角波であった。しかし作業後は輻輳眼球運動に関しては変化が見られないものの瞳孔反応は10例中7例で記録上逆台形型の波形を示した。すなわち輻輳眼球運動は指標と同時に進むものの瞳孔は指標に先だって縮瞳しさらに指標に遅れて散瞳が起こった。また瞬目が全例で作業後著しく増加した。

考察、結論：以上の結果より携帯電話を用い電子メール作成後、輻輳眼球運動に大きな異常を示さないものの瞳孔はややコリナージックでスパスティックな反応となり、近見反応に輻輳との解離が生ずることが明らかとなった。

—質疑応答—

板東：瞳孔運動が早めに起こって、…で待っているわけであるが、あれは早く打とうとすると早読みをして、予測制御をしなければならぬと思うが、そのために瞳孔もそれを反映していて、疲れてくるとだんだんサボるようになるという解釈は無理であろうか。

石川(均)：確かに、同じところを何度も何度も運動させているので、予測というのは非常に重要だと思う。ただ、全員検査に精通した人でまったく同じ検査を行いデータをとったので負荷前負荷後で変わっているということは、携帯メールの負荷でなんらかの影響があったのではないかと考えている。

板東：例えば携帯を打つのに慣れていない人と慣れた人では、慣れた人ではメールを打つという動作で運動のモードが切り替わり、予測制御モードになって、その後ある程度予測モードが続き、慣れた人と、そうでない人との差が出てくるのかもしれない。そういう可能性はあるであろう。

14. 映像生体影響と個人差

板東武彦, 高木峰夫, 小山田 浩,

植木智志 (新潟大学大学院医歯学総合研究科感覚統合医学講座)

目的：映像コンテンツの異なる複数の立体視ビデオに対する被験者の応答を分析することにより、個人差が強い生体影響要因と個人差を超えた生体影響要因を見出す努力を行った。

方法：コンテンツの異なる4種類の立体視ビデオ(いずれもほぼ6分)を用いた。このうち、2種類はCG作品(仮想アート作品、恐竜作品)、2種類は実写作品(ジェットコースタ映像、および鳥の生態映像)であった。被験者は男女学生(合計、21人)で、偏光めがねを用い、4種類のビデオをランダムな順序で、暗い室内(10ルクス)で鑑賞した。映像は2台のプロジェクターによりフィールド順次式に80インチスクリーンに投影した。音声をそのままスピーカーで流した。瞳孔径は浜松ホトニクス電子式瞳孔計(イリスコードC7364)を用い、心電図・血圧(日本コーリン、JENTO770)測定を連続的に行った。

結果：昨年は立体視ビデオ3種類について、主観的体調変化と瞳孔指標(縮瞳率)変化との間の相関を求め、仮想的CG映像では両者の相関が乏しいことを示した。本年は癒し系ビデオを含めてCG作品2種類、実写作品2種類について、瞳孔指標とともに、循環系指標(ρ_{max})の変化を求めた。CG映像は瞳孔指標、循環系指標のいずれについても、主観的体調変化との有意な相関がみられなかった(各々、 $R=0.09$, $R=0.15$, $n=21$)が、実写映像では有意な相関が得られた(各々、 $R=0.63$, $R=0.40$)。次に被験者8人の各々について、循環系指標の時間変化を分析した。映像コンテンツにより、被験者を超えた共通変化がみられた場合と、被験者ごとに応答が異なる場合がみとめられた。

考察と結論：昨年は瞳孔指標についてCG作品での生体影響が強く、自覚的体調変化との相関が強いことを示したが、本年はさらに循環系指標でも同様の効果を与えることを示した。このことから、特に仮想的なCG作品には注意が必要なこと

が示唆される。ビデオ視聴中の時間的分析から、大部分の被験者に強い生体影響を及ぼす映像シーンと、個人差が大きい映像シーンが存在することが示唆される。

15. fMRI による TVCM 提示時における皮質反応の検討

吉田正樹, 北原健二

(東京慈恵会医科大学眼科学講座)

井田正博 (都立荏原病院診療放射線科)

目的：日本民間放送連盟は、1998年6月に[アニメーション等の映像手法に関するガイドライン]を提案した。その項目中に、‘映像や光の点滅は、原則として1秒間に3回を超える使用を避ける’とある。今回われわれは、このガイドラインに抵触する可能性があるとして修正が加えられたテレビコマーシャルフィルム(以下TVCM)、修正前および修正後を提示時の皮質活動を、機能的磁気共鳴画像検査(fMRI)により検討を試みた。

方法：対象は正常被験者2名である。MR画像は臨床用1.5T臨床機を使用した。機能画像はGradient echo EPI (TE: 60 ms, TR: 3000 ms, FOV: 192 mm, 64 matrix, slice 厚 4 mm)にて全脳を撮像し、賦活部位は高分解能T1強調3次元画像に重ねた。視覚刺激は、ベースラインとしての視覚提示なしの15秒に続いて、修正前TVCM 15秒、修正後TVCM 15秒の計45秒を1連として10回連続提示をおこなった。画像解析にはSPM99上にて3秒毎のevent relatedモデルを用い、経時的な皮質の賦活を検討した。

結果：最も広汎な皮質の賦活が観察されたのは、視覚提示なしからTVCM提示開始直後であった。一方、修正前TVCMにおける光の点滅提示時においては、修正後TVCMにおいての同時と比較し、皮質活動に明らかな差異は観察されなかった。

考案と結語：TVCM提示時の経時的な皮質活動がfMRIにより検討し得た。独立因子解析など新たな解析法の導入や、解析モデルの改善によりさらに詳細な皮質活動の検討が可能であると推察された。

一質疑応答一

石川(哲)：映像を提示していく場合、パカパカやチカチカというのが3ヘルツ以上上がると危ないという事実をHardingが盛んに言っている。結局将来PSE(Photo sensitive epilepsy)が起こっては困るわけだから、それを予知出来るようになる映像がファンクショナルMRIで捉えられれば、素晴らしいと思う。今回のデータは後頭葉だけに変動が出ていたが、それより高位の連合野、前頭葉、頭頂葉などに変化が出る可能性があるかどうか教えていただきたい。

またコントロール画像を見せて沢山のデータを取る必要が将来あると思うが、それらのデータをサブトラクションをして、そして実際変化のあったデータを具現化することで、より明確な映像を出す技術があるが、どうか。それが脳の表面で出るか、深部で出るか、synchronousな出現はどうか、など、是非今後見て教えていただきたい。そういうテクニックは確かケンブリッジ大学などでfunctionalMRI用のソフトが出ており、利用可能であると思ったので一応伺ってみたかった。

吉田：確かに連合野もしくは前頭葉に異常が出るのではないかということ期待して今回全脳をとった。しかし後頭葉の反応が非常に強く、それに閾値を合わせてしまうと、おそらく前頭葉や高次中枢の反応は消えていってしまう。非常に僅かなものと考えている。実際には解析モデルを変えて調べていくしかないだろうと思う。それが、二つ目のサブトラクションの問題を解決するというご指摘に繋がることであるが、この一連の時系列のデータをどのように扱っていったら良いのか、私どもはまだ完全に把握していない。それが出できれば、警鐘を鳴らせるようなデータが出るかもしれないが、現時点ではまだそこまで至っていない。

板東：先程自分のセクションで言い忘れたが、全体のプロジェクトの委員長が石川先生であり、非常に詳しい。そのプロジェクトに脳波の黒岩先生も参加しており、黒岩先生が言うには非常に重要なメルクマールは賦活領域が狭いか広いかということが大事だと、後頭葉のごく一部に

限られている時は大丈夫で、もっと広く広がると危ないと。そういう意味で先生のケースはかなり広がっていたわけか。

吉田：これは一般の視覚提示した時の広がりからすると、異常な広がりということではなく、むしろ通常の広がりである。だから異常な広がりを捉えられたということではない。もう少し頭頂に向かった異常な反応が出るかという所、また前頭葉に異常な反応が出ることを期待していたが、この3回程度のパカパカではそれを捉えることが出来なかった。もう少し強くすれば良いのかも知れないが、ドームの中で発作を起こされても困るし、その辺が難しく、どのようにしたら良いか検討中である。

板東：多分発作の素因がある人で実験しないと発作が起きず、素因がある人で実験すると非人道的であり、難しいところである。イギリスでは最初の発作が広告から起こったのでTVのCMについて厳しい規制を敷いてきた。日本は番組から起こったので、番組は自主規制が厳しい状態であるが、次の焦点はCMかもしれない。

石川(哲)：光駆動性てんかんの起こりやすい条件は、両側パカパカ信号が出てくる赤と青の点滅は危ない。非常に強い光量で、右・左・右・左と3Hz以上で出すと危ない。

私は若林たちとこの研究をしてPSE患者を検査していたとき刺激により、瞳孔がどんどん縮瞳していく例はてんかん発生の可能性があり、危ない。さらに調節も見ていくと調節が過緊張になりスパズムを起こす例も危ない。例えば、-1D位から、-5Dで固定して動かなくなり、それが点滅を止めてもなかなか戻らないという例はPSE患者に多いことを知っている。そういうオートノミックな、非常にセンシティブな子供は眼科医は診ていてわかるので、是非診療上で気をつけた方がよいと思う。眼科医は、眼底カメラを連続に撮影する場合、症例によってはPSEを誘発する可能性があることは知っておくべきであろう。光駆動性てんかんについて、私は名古屋で臨床眼科学会の特別講演でポケモン事件が起きる5年くらい前に15例診て神経眼科的検査を行い、特殊な刺激は警戒せよ

と警告した。その後内容の一部は教室の若林が「神経眼科」に紹介しているので、参考にして欲しい。ポケモン事件の後この論文が患者診断の眼科的所見として、世界に紹介された。

第3回

日時：2004年4月15日(木)9:00~12:00
場所：東京国際フォーラムガラス棟5階G510

開会の辞

会長挨拶 三宅謙作(日本眼科医会会長)

班長挨拶 木下 茂(IT眼症と環境因子研究班 班長)

座長 木下 茂(京都府立医科大学眼科学教室)

1. IT眼症と環境因子——国際的見地を含めて
○石川 哲・坂部 貢・宮田幹夫(北里研究所病院臨床環境医学センター)
角田和彦(坂総合病院小児科), 吉野 博(東北大学大学院工学研究科)
2. 虹彩入退室管理システムの有用性について
○中島伸子(バプテスト眼科クリニック)
東原尚代・稗田 牧・木下 茂(京都府立医科大学眼科学教室)
3. 近用重視タイプの累進屈折力レンズを常用したときの臨床評価
○梶田雅義(福島県立医科大学医学部眼科学教室・梶田眼科)
高橋文男(株ニコン・エシロール研究開発)

座長 板東武彦(新潟大学大学院医歯学総合研究科)

4. オフィスワーカーにおけるドライアイの診断と涙液量の関連
○横井則彦・木下 茂(京都府立医科大学眼科学教室)
坪田一男(慶應義塾大学眼科)
堀口俊一・日野 孝(日本予防医学協会)
5. 調節ステップ応答を用いた他覚的コントラスト測定
○藤 紀彦・岩崎常人・田原昭彦(産業医科大学眼科学教室)

6. STEP 刺激における瞳孔反応を用いた眼精疲労の評価
○堀部 円・石川 均・浅川 賢・陶山秀夫 (国際医療福祉大学附属熱海病院眼科)
清水公也 (北里大学眼科)
7. 携帯電話メール使用前後の瞳孔反応—瞳孔振動による検討
○原 直人・大野晃司 (神奈川歯科大学)
内山仁志・田中館明博・向野和雄・清水公也 (北里大学眼科)
- 座長** 齊藤 進 (独立行政法人産業医学総合研究所)
8. 立体画像観視時の視覚疲労とその評価
○新井田孝裕 (国際医療福祉大学保健学部視機能療法学科)
江本正喜・野尻裕司 (NHK 放送技術研究所)
9. 立体映像負荷, 2次元映像負荷が近見反応時の瞳孔運動に与える影響
○鈴木康夫・松田泰輔・大塚賢二 (札幌医科大学医学部眼科学講座)
10. 輝度変調型 3D ディスプレイによる立体映像負荷の視機能への影響
○細畠 淳・高尾泰子 (大阪大学医学部眼科)
不二門 尚 (大阪大学医学部感覚機能形成学)
石樽康雄・陶山史朗・高田英明・中沢憲二 (日本電信電話㈱サイバースペース研究所)
11. 立体像注視時の調節応答特性からみた両眼視差の許容量
○岩崎常人・田原昭彦 (産業医科大学眼科学教室)
- 座長** 不二門 尚 (大阪大学医学部感覚機能形成学)
12. 「動きベクトル」による映像酔い分析と合成映像による眼球運動
○板東武彦・高木峰夫・小山田 浩・植木智志 (新潟大学大学院医歯学総合研究科)
木龍 徹・南保洋子・小林倫丈・野村恵里 (新潟大学大学院自然科学研究科)
鶴飼一彦 (早稲田大学理工学部)
13. IT 化社会のエルゴノミクス課題
○齊藤 進・外山みどり (独立行政法人産業医学総合研究所)
- 城内 博 (日本大学大学院理工学研究科)
丸本達也 (丸本眼科)
14. fMRI による異常視覚皮質反応の検討
○吉田正樹・柴 琢也・北原健二 (東京慈恵会医科大学眼科学講座)
井田正博 (都立荏原病院診療放射線科)
NGUYEN TH, STIEVENART JL,
IBA-ZIZEN MT, CABANIS EA (CHNO des XV-XX, UPMC PARIS VI University)
15. 2003 年実施日本眼科医会会員アンケート調査報告
○木下 茂 (京都府立医科大学眼科学教室)
ま と め 木下 茂 (IT 眼症と環境因子研究班 班長)
閉会の辞 入江純二 (日本眼科医会常任理事)
1. 「IT 眼症と環境因子——国際的見地を含めて」
- 石川 哲, 坂部 貢, 宮田幹夫
(北里研究所病院臨床環境医学センター)
角田和彦 (坂総合病院小児科)
吉野 博 (東北大学大学院工学研究科 都市・建築学専攻)
- 目的: 視覚端末装置 (VDT) は現在ほとんどの職場で使用されている機材であり大人から小児に至るまで幅広く使用されている。著者らは 2002. 2003 年, 欧州とくにスウェーデン, デンマークと学問的交流を行い VDT 関連の学者達と討議した。スウェーデンの J. Sundell (カロリンスカ研究所教授) らは数年前まではコンピュータ業務室におけるカビ, 温度, 湿度のみに注意を払い, 化学物質に対する検討はほとんど行っていなかった。その後, シックハウス・ビル症候群の問題が世界中で取り上げられるようになり, コンピュータ機器使用中に発生する可塑剤, 難燃剤などの物質が生体に如何なる障害を来すかについて研究が徐々に行われるようになってきた。今回の発表では難燃剤に最も使われる化学物質, リン酸トリエステル等を中心にその人体毒性などを文献的に紹介し自験例を中心に報告してみたい。

方法：VDT 眼症、とくに疲労の問題については調節性縮瞳及び輻湊の変化について紹介する。とくに室内化学物質汚染との関連などを述べる。

結果：有機リン剤のうち、リン酸トリ.Ortho.クレシルは以前から使われ神経損傷を起こす化学物質としてよく知られていた。これら有機リン剤の毒性を知るためには眼でとくに瞳孔または毛様体筋の先行刺激負荷による誘発反応の累加現象を追うのが最も生理学的基本である。今回はその反応などにつき述べる。

結論：コンピュータ機器から発生するリン酸エステルは、無害ではなく有害な物質になり得る可能性を述べた。それに対する対策などを含めて今後研究する必要がある。

一質疑応答一

木下：リン酸エステルは測定出来るのか？ 人体毒性は？

石川(哲)：測定は東大柳沢幸雄教授(有機化学分析専門家)の協力を得て行っている。GC FPD(HP-GC 6890)を使用している。リン酸トリエステルは、TOCP 以外、これまでに人体影響に関する研究は殆どない。従って今後の問題だ。しかし、狭い空間にコンピューターがひしめき合っている事業所では1台から出る量は少なくとも、全体の機器から発生するガスの総量に対しては当然注意を払うべきである。対策として新鮮な空気を取り入れるよう、換気を行う努力が極めて重要である。

2. 虹彩入退室管理システムの有用性について

中島伸子(パプテスト眼科クリニック)
東原尚代, 稗田 牧, 木下 茂
(京都府立医科大学眼科学教室)

目的：虹彩紋理を照合することにより個人を特定する市販の虹彩入退室管理システムの有用性について検討した。

対象：対象は屈折異常以外に眼疾患を有さない正常者10名20眼(対象1)と屈折矯正手術(LASIK)施行予定患者13名26眼(対象2)である。対象1は男性3名、女性7名で平均年齢28.5±3.2歳、対象2は男性5名、女性8名で平

均年齢25.8±6.3歳であった。これら全対象についてまず裸眼時に虹彩登録を行った。

方法：対象1については、裸眼時・眼鏡上・ハードコンタクトレンズ上・カラーコンタクトレンズ上で、対象2については、手術前・手術後1ヶ月で照合を行い、動作状態を確認した。一条件での照合は各々10回行い誤作動の有無を観察した。

結果：全ての条件下で有意な誤作動は認められなかった。統計学的有意差は認められなかったが、カラーコンタクトレンズ上での照合は再確認を行う症例が多く認められた。屈折矯正術後においても有意な誤作動は認められなかった。

考察：内眼手術を除く種々の条件下でも、虹彩入退室管理システムは誤作動を起こしにくいと考えられた。虹彩紋理を確認し難い濃い色のカラーコンタクトレンズ装用眼では他条件に比して確認作業に時間を要したのが有意差は認められなかった。しかし、支障を来す可能性が認められたため、注意が必要と考えられた。

結論：虹彩紋理で認識照合する虹彩入退室管理システムは種々の条件下でも有用であると考えられた。

一質疑応答一

石川(均)：瞳孔径は虹彩紋理での認識照合に影響を及ぼすか？

中島：室内照明の状態など常に同条件で測定するので、瞳孔径の状態は影響ないと考えられる。

3. 近用重視タイプの累進屈折力レンズを常用したときの臨床評価

梶田雅義(福島県立医科大学医学部眼科学教室・梶田眼科)
高橋文男(㈱ニコン・エシロール研究開発)

目的：日常生活でディスプレイを見る機会が非常に多くなってきている。もし近々累進屈折力レンズが常用できれば、快適な作業環境作りの一助になるのではないかと考え、治験を行ったので、報告する。

方法および対象：日常の業務でVDT作業が多い対象20名(25~47歳[平均35.3], 男11名,

女9名)に加入度数1.00Dの近々累進屈折力レンズを処方し、常用させた。眼鏡処方時と装用開始4週後に、調節機能検査と涙液検査(シルマーI法)を行なった。また装用開始時、1週後、4週後にはアンケート調査を行なった。

結果:アンケート調査では、「眼鏡が使いやすい」、「使える」、「どうにか使える」、「使いにくい」、「すごく使いにくい」の5段階で評価を得た。これらの回答は装用1日目ではそれぞれ1, 4, 6, 7, 2名であったが、1週後には2, 7, 7, 4, 0名に、4週後には1, 13, 1, 4, 1名に変化し、装用の経過に伴い使用できる割合が増加した。調節微動の高周波成分の出現頻度は、装用開始前よりも4週後で、28眼が低下し、12眼が増加しており(平均値は -2.5 ± 5.8)、眼鏡装用によって毛様体筋の緊張度は減少した。また涙液検査では装用開始前よりも4週後で、19眼は増加、8眼は不変、11眼は減少(平均 1.0 ± 9.4 mm)していたが、装用開始前に7 mm以下(平均 5.6 ± 1.4 mm)を呈していた6名9眼のドライアイすべてで涙液量の増加(平均 14.0 ± 5.4 mm)を認めた。そのうち、眼鏡が使いやすかったと答えた4名6眼では、装用前平均 5.5 ± 1.6 mmから4週後平均 17.0 ± 3.7 mmへと著しく改善したが、眼鏡が使いにくかったと答えた2名3眼では装用前平均 5.7 ± 1.2 mmから4週後平均 8.0 ± 1.0 mm程度であった。

結論:累進屈折力レンズの装用にはレンズデザインに対する慣れが必要であり、装用を継続することによって何ら支障を感じなくなる者といつまでも快適な装用が得られない者がある。最近増加しているVDT作業者のドライアイは、調節負荷が関与しており、累進屈折力レンズによって解消できる場合があることが示唆された。

一質疑応答一

不二門:① 近々メガネの遠用が完全矯正に近いのは何故か?

② 中年をターゲットにしなかったのは何故か?

③ VDT workの時間は?

梶田:① デザインは近々用であるので近用面積が広く、通常視ではほとんど近用部位で見ることになり、遠くを見たいときのみ、何とか遠

くが見えるという状態で処方している。

② 加入度数が+1.0Dなので、高齢者は採用していない。

③ 通常の業務でVDT作業を行っており、1日8時間という例もいた。1日5時間未満という例はいなかった。

横井:目の緊張状態で涙の分泌量が変化するというのは非常に興味深いですが、先生のやられた方法は、シルマーI法なのか、シルマーI法変法(点眼麻酔使用)なのか?

シルマーI法だと、眼表面への刺激による涙液分泌をみているので、目がリラックスした状態をみるのであれば、シルマーI法変法(涙液の基礎分泌)の方がよいように思うのだが。

梶田:シルマーI法で行った初回に過剰分泌を示した例では、シルマ紙による刺激が関与している可能性がある。

しかし、初回に過少であった例が適正化していたのは、興味がある。

木下:涙液量が増加するのは、おそらく眼精疲労による副交感神経優位のためと思う。逆のドライアイが治ってくるというのは、どのようなメカニズムによるものなのか。

梶田:過矯正コンタクトレンズ装用者のドライアイで、適正矯正に直すことでドライアイが改善する例を多く経験しているので、今回の調査に涙液量測定を加えた。

副交感神経優位になったときには、粘性の低下したさらさら涙が多くなり、蒸発亢進型のドライアイになるのではないかと考えている。

4. オフィスワーカーにおけるドライアイの診断と涙液量の関連

横井則彦、木下 茂

(京都府立医科大学眼科学教室)

坪田一男(慶応義塾大学眼科)

堀口俊一、日野 孝

(日本予防医学協会)

目的:これまで、VDT作業時間の比較的長いオフィスワーカーにおいて1)ドライアイが高頻度に存在すること、2)ドライアイとしては蒸発

亢進型が大半を占めること、3) ドライアイのリスクファクターとして、女性、コンタクトレンズ (CL) 装用、マイボーム腺機能不全があることを報告した。そこで、今回、オフィスワーカーにおけるドライアイの診断と涙液量との関連について検討した。

対象と方法：対象は、オフィスワーカー 143 名 (男性：82 名、女性：61 名；年齢：36.8±9.3 歳) であり、検査として、メニスコメトリー法 [下眼瞼中央涙液メニスカスの曲率半径 (R) 測定] による涙液量の評価、フルオレセイン breakup time (F-BUT) の測定、角膜のフルオレセイン染色 [AD 分類 (宮田ら、臨眼 94') にてスコア化]、シルマーテスト I 法 (S-T) を順に行い、ドライアイの診断 (確定：F-BUT ≤ 5 秒または S-T ≤ 5 mm かつ A1D1 以上；疑い：F-BUT ≤ 5 秒、S-T ≤ 5 mm、A1D1 以上のいずれか 1 つ；なし：F-BUT > 5 秒かつ S-T > 5 mm かつ A0D0) と R と関連について検討した。

結果：ドライアイの確定、疑い、なしは、それぞれ、101 眼、119 眼、66 眼であり、R (mm) は、それぞれ、0.32±0.09、0.34±0.10、0.39±0.16 となり、なしに比べて、確定、疑いで有意に (それぞれ、 $p < 0.05$) R が小さかった。一方、CL 装用 (88 眼)、非装用 (202 眼) (それぞれ R = 0.33±0.11、0.35±0.12)、あるいは、男 (164 眼)、女 (122 眼) (それぞれ R = 0.36±0.12、0.34±0.11) で R に有意差はなかった。

考察：オフィスワーカーにおけるドライアイの発症には、VDT 作業、性、コンタクトレンズ装用、既存のマイボーム腺機能不全、涙液減少、温度、湿度などのオフィス環境など、多くの要因が複雑に関与していると考えられた。

結論：オフィスワーカーにおけるドライアイの発症には、既存の涙液減少もリスクファクターとなっていると考えられた。

一質疑応答一

板東：① リスクファクターの組合せと、ドライアイ発症の関係は？

② 女性にドライアイが多いのは何が原因と思われるか？

③ フィードバックが働く機能があるが、そ

れでもなぜドライアイは発症するのか？

横井：① 女性、コンタクトレンズ装用、マイボーム腺の異常、涙液貯留量のいずれが最もドライアイ発症にウエイトが高いかは非常に興味があることであり、まだ解析は行えていないが、解析してみようと考えている。

② 女性にドライアイが多い理由として、マイボーム腺機能不全がやはり最も重要と考えられるが、今回の眼瞼を圧迫してマイボーム腺からの油の分泌をみるというプリミティブな方法ではその関連を検出できなかった。しかし、マイボーム腺の油の貯留量を測定する別の方法では女性に油の貯留量が少ないことが知られているので、よりファインな非侵襲的、定量的な方法があれば、女性に多い原因が明確になるかもしれない。

③ シルマーテストでわかったようにオフィスワーカーのほとんどは反射の涙液分泌が保たれている。すなわち、reflex loop によるフィードバックがかかってドライアイは解除されるポテンシャルを持っているのだが、コンタクトレンズ装用や、マイボーム腺の異常、涙液貯留量の減少、環境、VDT 作業など、他のさまざまなリスクファクターの積み重ねがあって、reflex tear のフィードバックでは代償できないときにドライアイが発症するのだと思われる。しかし、各リスクファクターが減れば、ドライアイは不顕性のものとなると考えられる。

5. 調節ステップ応答を用いた他覚的コントラスト測定

藤 紀彦, 岩崎常人, 田原昭彦

(産業医科大学眼科学教室)

目的：日常の視機能に対する自覚検査として、視力・視野・色覚・中心フリッカーなどがあるが、視力は濃淡のコントラストがはっきりした視標を用いて、どの程度の細かさまで区別できるか (最小分離域) で測定している。しかし、コントラストの異なるもの、様々な大きさつまり空間周波数の異なる見え方 (みやすさ、みにくさ) は評価できない。よってコントラストを用いて視機能を評

価することは重要である。また、緑内障患者などにおいて初期の段階で視野異常を自覚することは少なく、ある程度視野異常が進行しないと自覚症状は現れないことが多い。したがって、不可逆性の視野障害を来す緑内障を早期発見するための他覚的検査が必要となり、今回は他覚的検査法として調節ステップ応答を用いることで他覚的コントラストを測定した。

方法：対照は正常眼で行った。調節ステップ応答の測定には赤外線オプトメータを用い、2 m の距離に遠方視標を、0.33 m の距離に近方視標を設定し、ハーフミラーを介して5秒間毎交互にトリガーをかけ、それぞれ10回ずつ呈示して単眼の調節ステップ応答を測定した。遠方視標は、緑色の明発光体 (3 cd/m^2) の上に黒色のスターバーストをレトラセットで作図したものを用いた (視角: 約 1.7°)。近方視標には、明暗の異なる高輝度と低輝度マルタクロス (Maltese cross) を二つ用いて正八角形 (水平視角: 15°) を作図し、近方視標のコントラストの決定には、Michelson コントラストの算出法を用いて、輝度の異なる10種類のコントラスト視標を用いた。調節ステップ応答の測定は、近方視標と遠方視標の呈示時間が各5秒でそれぞれ10回行い、一眼の測定に要した時間は、5秒 \times 20回 \times 2通りに刺激法の交換時間を加えておよそ200秒であった。調節ステップ応答波形の解析には、遠方視標から近方視標を注視したときの調節応答である調節緊張速度を使用した。遠方視標を注視している時の調節応答位置に対して、近方視標を注視し、近方視標呈示から560 ms 間 (Δt ; 560 ms) に変化した調節応答量 (Δd ; D) を求め、 $\Delta d/\Delta t$ として速度 (D/s) を計算した。

結果：正常眼では両眼とも調節緊張速度と近方視標のコントラストとの関係は対数関数で近似された。今後は、自覚症状のない緑内障患者などに対して、この方法を用いて調節緊張速度と近方視標のコントラストの関係を求めることで早期機能変化を捉えていく。

一質疑応答一

板東：① 指標のバックグラウンドの色は？

② バックグラウンドの影響はあるか？

③ color を遠方 green にした理由は？

④ 遠方、近方の切りかえはどの様にしているのか？

⑤ 今後解析は。

藤：①②③ 遠方視標の背景について、緑色の背景で見やすいと判断してのことである。

④ 近方視標の背景を利用し、on-off で近方一遠方を切りかえている。

⑤ 視機能評価について、緑内障患者 (早期自覚症状のない) に対して、まず応用する。

6. STEP 刺激における瞳孔反応を用いた眼精疲労の評価

堀部 円, 石川 均, 浅川 賢,
陶山秀夫

(国際医療福祉大学附属熱海病院眼科)

清水公也 (北里大学眼科)

目的：我々は眼精疲労評価を、連続的な近見負荷刺激に対して瞳孔反応を用い検討してきた。今回視標を遠方・近方の二点に定め、STEP 刺激を与えた際の瞳孔反応速度を測定し眼精疲労の影響を検討した。

対象・方法：対象は屈折異常以外に眼科的疾患がなく矯正視力 1.0 以上、両眼視機能は 100 sec 以上 (Titmus stereo test) の 23~30 歳、男性 3 名、女性 9 名の 12 名とした。方法は遠方屈折矯正眼鏡装着にて照度約 350 lux の部屋に 5 分間前順応し、その後遠方 5 m (0.2 D) の視標を 10 秒固視後、近方 7 cm (14 D) の視標を 10 秒固視という STEP 刺激を 3 回与え、その時生じる瞳孔反応と眼球運動をトライイリス (浜松ホトニクス社製) にて測定した。測定後、眼前 10 cm の位置にて 30 分間続けて携帯電話に附属するメールに文字を打ち込む作業をしてもらった。作業終了直後、同様の STEP 刺激を与え測定した。作業前後での瞳孔反応の評価は優位眼を用いて行った。

結果：遠方から近方に視標が変わった際、最小瞳孔径に達する時間は作業前では $2.2 \pm 0.8 \text{ sec}$ (平均 \pm SD) 作業後では $2.6 \pm 1.2 \text{ sec}$ で有意差は生じなかった。それに対し近方から遠方に視標が変わった際、瞳孔径が遠方時の 63% に戻るまで

に要した時間は作業前では 2.4 ± 0.7 sec, 作業後では 3.2 ± 0.8 sec と有意に延長した。また遠方瞳孔径は作業前に比べ作業後では有意に小さくなり、縮瞳率は低下した。

考察：作業後の散瞳速度の遅れ、遠方瞳孔径の減少は瞳孔の副交感神経機能亢進、または交感神経機能低下が生じた為と考えられた。

結論：STEP 刺激における瞳孔反応は眼精疲労の程度を他覚的、定量的に評価することが可能であると思われた。

一質疑応答一

板東：近方作業で輻輳反応、縮瞳がおこる。結果では、瞳孔の散大が遅れて解離がおこる。

この解離が眼精疲労の原因でなく、眼精疲労があるから解離がおこるのではないか？

石川(均)：IT 作業後に生じる眼球運動、瞳孔反応の解離をただちに眼精疲労の原因とするのは確かに問題があるかもしれないが、例えば VDT 作業後、近方から遠方に視線を移すとピントが合わない等の訴えを説明する一つの論拠となり、眼精疲労の原因の一因として考えてよいのではないか。

7. 携帯電話メール使用前後の瞳孔反応

一瞳孔振動による検討

原 直人 (神奈川歯科大学)

内山仁志 (北里大学眼科)

大野晃司 (神奈川歯科大学)

中館明博, 向野和雄, 清水公也

(北里大学眼科)

目的：瞳孔振動解析による携帯電話メール使用前後の易疲労性の検討。

対象：器質的な眼疾患のない裸眼視力 0.7 以上の若年者 19 例 (平均 20.8 ± 1.6 歳) である。

方法：20 分間の携帯電話によるメール入力作業前・後に、遠見視と近見視での瞳孔反応を赤外線電子瞳孔計 (浜松ホトニクス双眼イリスコーダ C 7364) を用いて測定した。瞳孔振動を、高速フーリエ変換にてスペクトル解析を行い、パワーエネルギー成分の出現頻度を算出した。また、入力作業後のアンケート調査より、疲労群 (8 名)、疲

労なし群 (11 名) に分類した。

結果：1) 瞳孔径の変化：疲労群の遠見瞳孔径は負荷後に有意に散瞳した (負荷前・負荷後でそれぞれ 3.74 ± 0.77 mm, 4.50 ± 0.46 mm, $P < 0.05$) となった。一方、疲労なし群の遠見瞳孔径は、負荷前後において変動はみられなかった (負荷前・負荷後でそれぞれ 4.09 ± 0.98 mm, 4.00 ± 0.74 mm)。2) 瞳孔振動解析：疲労群の遠見視振動数が、0.05 Hz 未満の低周波で負荷前に比べて負荷後に有意に増加した (負荷前：負荷後 $0.52 \pm 0.57 \times 10^{-5}$ mm²/Hz : $2.30 \pm 1.40 \times 10^{-5}$ mm²/Hz, $P < 0.05$)。一方、疲労なし群では、負荷前後の値に変動がみられなかった (負荷前：負荷後 $2.68 \pm 3.08 \times 10^{-5}$ mm²/Hz : $2.23 \pm 2.59 \times 10^{-5}$ mm²/Hz)。

考察・結論：20 分間の携帯メール入力は、瞳孔の散大が見られることから中枢神経の交感神経に負荷を与えていることが考えられる。また、瞳孔振動数 0.05 Hz 未満の低周波が増加したことより、ここが眼精疲労に関係する周波数帯であろうと考えられる。

一質疑応答一

板東：作業時間のクライテリアはあるのか？ 20-30 分か？

原：特に決めた分けではなく、20 分という結構疲労するかなという程度の決め方である。疲労あり群では、全体的な振動積分値が小さいので、瞳孔は比較的動きが悪いのではないかとと思われる。瞳孔が大きくなると振動の積分値は、大きくなるようだ。

梶田：① 眼疲労によって、交感神経が不活性化されるという考察には興味がある。

副交感神経が優位になった状態に打ち勝って遠方にピントを合わせる状態と考えられ、調節の二重支配説を裏付けるデータと思う。

② 調節微動では、疲労とよく相関するのは、調節安静位付近の視標に対してであるが、瞳孔ではどうなのか、興味がある。

原：調節安静位での距離で測定して、瞳孔振動解析を検討してみたい。

石川(哲)：疲労を他覚的に示す方法の意義は大きいですが、0.05 Hz を先生の実験では標準的な frequency としてよいか。Tuebingen 大学眼科

の Wilhelm の結果 (Pupil Unrest Index) との差などあるか? あればご教示戴きたい。

原: 0.5 Hz に注目したのは、求められたピークパワー値の特徴から決め、それを 0.05 Hz 未満 (以下, 極低周波数) と 0.05~0.15 Hz (以下, 低周波数帯), 0.15~0.4 Hz (以下, 高周波数帯) の 3 区間に分けた。一方, Wilhelm らは 0.8 Hz 未満の振動を全体的な解析を行っていて、また Pupillary Unrest Index (PUI) といった独自の Index で検討しているため、我々の評価方法とは直接の比較はできない。

8. 立体画像観視時の視覚疲労とその評価

新井田孝裕 (国際医療福祉大学保健学部視機能療法学科)

江本正喜, 野尻裕司

(NHK 放送技術研究所)

目的: 水平両眼視差が奥行き知覚の主要な手がかりとなる, 2 眼式立体画像観視時に視覚疲労を訴えることがある。これが水平両眼視差による両眼の輻湊と焦点調節の不一致に起因するものかどうかを実験的に検討した。

方法: 視機能に異常のない 6 名の正常被験者を用いた。立体画像観視時の輻湊と焦点調節の関係をプリズム, レンズ光学系を用いて模擬した状態で, 約 1 時間の画像観視実験を行い, 観視前後での融像幅, 調節ステップ応答 (ステップ量: 5 D) を測定した。また, 観視後に視覚疲労に関する主観評価を行い, 視覚疲労の評価指標とした。実験条件として, 1) 一定度のプリズムにより輻湊のみに一定負荷して単一の映像モニタを観視する条件, 2) 時間変動する度のプリズムにより, 輻湊のみに変動負荷して単一の映像モニタを観視する条件, 3) 時間変動プリズムによって誘導される輻湊点に焦点調節を一致させるようにレンズ補償を加えて単一の映像モニタを観視する条件, 4) プリズムを使用せず 2 台の映像モニタに呈示された, 比較的水平両眼視差変動が小さい 2 眼式立体画像を観視する (3 D) 条件の計 4 つで検討した。1), 3) におけるプリズム負荷量は Percival の快適視域を基に各被験者ごとに設定した。

結果: 調節ステップ応答では有意な系統的变化はみられなかった。一定の輻湊負荷が大きい条件と, 時間変動する輻湊負荷条件では観視直後に一過性に融像幅の減少がみられた。

考察及び結論: 両眼の輻湊と焦点調節の不一致の量が大きい条件と時間変動する動的条件では融像幅の減少に加え, 主観評価でも悪化する傾向がみられ, 視覚疲労の原因となっていることが示された。また, 適切に撮像, 表示された立体画像では視覚疲労を軽減できる可能性が示唆された。

一質疑応答一

板東: 3 D 条件と 2 D 条件の実験条件について

新井田: 2 D 条件はプリズム負荷のない平面画像観視で行っている。この条件ではバラツキが大きく有意差は出ていない。

9. 立体映像負荷, 2 次元映像負荷が近見反応時の瞳孔運動に与える影響

鈴木康夫, 松田泰輔, 大塚賢二

(札幌医科大学医学部眼科学講座)

目的: 現在実用化されている立体映像提示機器は, その使用者に調節と輻湊の乖離を生じさせるため, 短時間の負荷であっても使用者の視機能に影響を生じやすいと考えられている。鈴木, 伊福部らは, 赤外線アコメドメータ (AA-2000, NIDEK) を用い, 調節のステップ応答に際した調節緊張速度がこの影響を評価する良い指標となることを報告しているが, 検出感度が高く定量性のある検査項目は確立されていない。我々は昨年度の本研究会において, 立体映像負荷前後で近見反応検査装置試作機 (C 7364 SA, 浜松ホトニクス) を用いた近見反応時の瞳孔運動と調節のステップ応答との比較検討を行い, 近見反応時の瞳孔運動が調節のステップ応答よりも鋭敏な検査項目となり得ることを報告した。今回は, 比較実験として 2 次元映像負荷前後においても同様の計測を行い, さらに新たな瞳孔運動解析パラメータを加えて検討した。

方法: 屈折度が +/- 0.5 D 以下の健康成人 8 名 (18~25 歳, 平均 20.5 歳, 男女各 4 名) を対象とした。立体映像は, 液晶シャッター式眼鏡を用い

た立体テレビを用い、コンピュータグラフィックス（CG）による立体映像と実写の立体映像（各約4分間）を交互に計30分間負荷し、2次元映像は、立体映像と同一のテレビを用い、アニメCGを90分間負荷した。各映像負荷前後に第2回本研究会の報告と同一の刺激パラメータ、測定プロトコルで上記の計測を行った。近見反応時の瞳孔運動の新たなパラメータとして、平均瞳孔径より縮瞳している時間に対する散瞳している時間の比（squeeze ratio, SQRT）を定義し、これについても解析を行った。

結果：映像負荷前の近見反応時の縮瞳、散瞳運動はほぼ対称でSQRTの平均値は1.1であったが、立体映像負荷直後の調節負荷8Dに対するSQRTの平均値は0.6へと有意に低下した（ $N=8, P<0.01, \text{One way ANOVA}$ ）。この有意差は負荷後30分以降には認められなかった。調節負荷6Dに対するSQRTと、調節負荷6D及び8Dに対する他の測定値の平均値には、負荷前後で有意差を認めなかった。一方2次元映像負荷では、負荷前後で有意な変化を示した測定パラメータはなかった。

結論：立体映像負荷は2D映像負荷よりも短時間で使用者の近見反応時の瞳孔運動に一過性ながら有意の変化を生じる可能性がある。近見反応検査装置はこの変化を鋭敏に定量的に検出できるため、映像負荷が視機能に与える影響の評価に有用と思われる。

一質疑応答一

板東：瞳孔の径そのものは立体視負荷後に変わるか。

鈴木：静的な瞳孔径そのものが変化するわけではなく、近見反応に伴う瞳孔運動にのみ変化が生じる。

交感-副交感の単純なバランスの変化ではなくバランスをきりかえる際に必要な時間が変わると考える。

今回の堀部、石川らの発表にあったステップ応答時の潜時の延長に対応していると考え。

斉藤：被験者の年齢が18~25歳であるが、より広い年齢層で検討することが必要ではないか。

鈴木：年齢による影響はあると考える。今回の実

験により、若干高い年齢層で行った予備実験ではやや強めの影響が生じた。瞳孔運動を指標にすると高齢者でも測定可能なので今後対象年齢を拡大して検討してみたい。

石川(哲)：Tri-Irisで見ている眼球運動は、ゆっくりとした輻輳運動であるが、実空間でrandomに早いテンポで両眼のVersion・Vergence, Asymmetric Vergenceを記録する事が出来れば、convergence時の疲労も捉えられるであろう。その時dominant eyeとnon-dominant eyeでは固視点により、輻輳角度が変わってゆすが、その場合Vergenceに疲労現象が出るという研究を過去に行った事がある。先生の研究にその様なモデルを組み込むことができるであろうか。

鈴木：両眼の2D, 3D眼球運動記録は難しいが、両眼水平眼球運動記録で、水平線に沿った視標の速い移動を行わせるパラダイムを考えてみたい。

10. 輝度変調型3Dディスプレイによる 立体映像負荷の視機能への影響

細島 淳, 高尾泰子

(大阪大学眼科)

不二門 尚 (大阪大学医学部感覚機能
形成学)

石樽康雄, 陶山史朗, 高田英明,

中沢憲二

(日本電信電話(株)サイバースペース研究所)

目的：従来の3Dディスプレイは、左右眼別々に入力された平面画像の視差情報から立体感を得るものであり、輻湊と調節の乖離が視機能に影響を与えると考えられている。現在までに何種類かの3Dディスプレイで映像負荷実験が行われたが、2D負荷に比べてアンケートで疲労のスコアは高くなるものの、視機能検査では生理的で可逆的な変化の範疇におさまっている。2002年に開発された輝度変調型3Dディスプレイ（Depth-Fused 3-D Display：日本電信電話(株)サイバースペース研究所、以下DFD）は液晶2枚を前後に配置し、その輝度比によって立体感を感じ取る新しい方式

であり、従来の視差による奥行き知覚と異なる影響が考えられる。今回、我々はDFD方式による3D映像負荷が視機能に与える影響を検討した。

対象と方法：対象は屈折異常以外に眼疾患のない健康被検者10名。3D負荷としては、4インチのDFDディスプレイに前面、中間、後面の3つの視標をランダムな位置に提示し、中間の深さのもの位置を回答する負荷を20分に行い、前後の視力(10%ETDRS chart)、屈折(ARK-730 A, NIDEK)、調節負荷下の動的調節反応(TRK-4 CK, NIDEK)、調節負荷下の縮瞳率(TriIRIS, 浜松ホトニクス)を測定し、併せてアンケート調査を行った。対照の2D負荷は同一被検者に実施日を変え、視差による奥行き情報のない大中小の視標をランダムに配置し、中サイズがどこにあるかを回答する負荷を20分に行い、同様の視機能検査、アンケートを行った。

結果：3D負荷前後の視機能を比較したが、低コントラスト視力、屈折値、縮瞳率、調節幅、調節のゆらぎに有意な差はなかった。2D負荷前後の比較でも有意差はなかった。負荷前後の差を3D負荷と2D負荷と比較したが有意差は認められなかった。アンケートでは眼の疲れ、眠気の点数が高く、2D負荷・3D負荷とも同様の傾向を示し、スコアに有意差は認められなかった。位置の正答数、正答率は3D負荷時の方が有意に高かった。

考察：DFD方式においては、アンケート結果および視機能への影響の双方とも2D負荷と大きく変わらなかった。正答数・正答率が2D負荷時よりも高く、立体感という情報を自然に付加できる有望な方式と考えられた。今後DFDが有用な認知補助となるか心理学的な検討が必要と考えられた。

結論：新しい3D表示方式であるDFDでは、従来の視差式3D表示装置と異なりアンケート結果においても2D負荷との有意差がなく、かつ視機能にあたる影響は2D負荷と同様に生理的な範囲内であった。

—質疑応答—

齊藤：DFD(輝度変調型3D)の適用範囲または、制約条件はあるか。

細島：DFDではできるだけ前後の液晶の正面か

ら観察する必要がある。

齊藤：DFDでは動画も出せるか。

細島：DFDで動画もきれいに出来る。

岩崎：両眼視差法を用いた3D画面より、視機能への影響が少ないとの事だが、これからの普及予測はどのようになるのか？

細島：① 視差方式に比べ、立体画像の知覚が、液晶面の間に限定されるため、大きなとびだしや遠い背景については出せない。

② カーナビや携帯では有用な方式だが、液晶が複数枚要るので値段との相談である。

11. 立体像注視時の調節応答特性からみた両眼視差の許容量

岩崎常人, 田原昭彦

(産業医科大学眼科学教室)

目的：立体映像表示での視機能に悪影響を与えない両眼視差(以下視差)条件を探るために、三次元ディスプレイ上での立体像注視時の調節ステップ応答を測定した。

方法：調節の測定には赤外線オプトメータを用い、遠方視標を1mの距離に近方視標を50cmの距離に設定し(調節刺激量:1D)、右眼の調節ステップ応答を測定した。遠方視標は、黒色のスターバーストを、近方視標には、パララックス・バリア方式三次元ディスプレイに円図形を呈示した。円図形の視差条件は、同側性に -0.5° と -1.0° 、 -1.5° 、交差性に $+0.5^\circ$ と $+1.0^\circ$ 、 $+1.5^\circ$ 及び視差を 0° の7通りとした。調節波形の解析は、各視差条件で記録される波形の平均波形における肉眼的観察と、調節応答量を計算した。

結果：調節ステップ応答の平均波形の観察では、視差 0° の時と比較して、同側性では応答が少なく、交差性では多くなった。特に、視差を交差性に $+1.0^\circ$ と $+1.5^\circ$ にした場合には、調節刺激量よりも過剰な応答(accommodation lead)が観察された。調節応答量の平均値±標準偏差は、視差 $+1.0^\circ$ と $+1.5^\circ$ でそれぞれ 1.06 ± 0.12 D、 1.26 ± 0.16 Dとなり、調節刺激量を超えた。

結論：両眼視差を用いた場合の立体映像の視差は、少なくとも交差性に $+1.0^\circ$ 以上とすることは避

けた方が良いと考えられる。

一質疑応答一

不二門：① 調節リードの状態ではボケはないか？

② 1°の視差は眼精疲労につながると考えるか？

岩崎：① 調節ラグは通常 0.5～0.75 D といわれている。リードは質的にはラグとは逆の生理状態だが、リードの量が 0.5 D くらいだったので量的に 0.5～0.75 D を越えていない。従って、ボケはないと考える。また、被験者は、知覚された立体像にボケを自覚していなかった。

② あくまでも眼精疲労は「眼が疲れる」という訴えが第一義だと考える。今回はこの訴えとの関係をみていないが、調節の生理状態からすれば、視差+1.0°以上を眼精疲労発症の臨界点としたいと考える。

12. 「動きベクトル」による映像酔い分析と合成映像による眼球運動

板東武彦, 高木峰夫, 小山田 浩,
植木智志

(新潟大学大学院医歯学総合研究科)

木竜 徹, 南保洋子, 小林倫丈,
野村恵理

(新潟大学大学院自然科学研究科)

鶴飼一彦 (早稲田大学理工学部)

目的：映像／生体応答の定量的解析を併用して「映像視聴による生体影響」を分析した。

概略：(1)マウンテンバイクにカメラを取り付けて撮影した実写映像から「動きベクトル」を計算し、映像酔いを起こしやすい映像の特徴を求めた。(2)「動きベクトル」を各要素に与えたランダムドット映像（元の実写映像のうち、動きのみを再現した映像）を合成、被験者 3 人に提示し、その眼球運動を解析した。

方法：暗い室内（10 ルックス）で、LCD プロジェクタ（TH-L 795 J, 松下電器, XGA 対応, 700 lm x 2）により 80 インチスクリーンに映像を投影した。眼球運動は、早稲田大学の鶴飼が開発した眼球運動／瞳孔計を用い連続的に行った。心電図・血圧（日本コーリン, JENTO 770）・発汗

（スキノス, SKD 2000）は連続的に測定した。結果：被験者実験により映像酔いが報告された映像シーンを集め、動きベクトルの分析を行った。

結果：(1) 2-3 Hz の遅い前後方向への動きの後で、短時間を経て、8-10 Hz 程度の速い動きに移行することが共通にみられた特徴であった。このことから、上記の動きの組み合わせが映像酔いを起こす要因の 1 つであることが示唆された。(2) 実写映像をブロックに分割し、計算したグローバルベクトルをランダムドット画像の対応点に与え、テスト映像を合成した。このテスト映像視聴中の被験者の眼球運動は、元の実写映像による眼球運動に比べて、細かい動きが明らかに少なかったが、遅い動きは実写映像から得られた眼球運動とほぼ一致した。また、眼球運動中の眼球位置の分布は実写映像視聴中の方が広いが、その分布の中心部はほぼ一致していた。

考察と結論：本実験の結果は、従来、単独周期の視覚的動き刺激では映像酔いが起こりにくいこと、速い動きのみでなく、2-3 Hz の動きでも映像酔いが発生しうることと一致する。また、「動きベクトル」には、カメラの動きに相当するグローバルベクトルと画面要素の相互運動に相当するローカルベクトルがあるが、本実験で得られた眼球運動の特徴は、グローバル動きベクトルの性質を反映したものであった。

一質疑応答一

鈴木：画像のパラメータを同一としたとしても、アテンション、固視点の違いが結果に影響すると考えられるが、この点に対してのコメントをお願いしたい。

板東：映像の雰囲気のような要素は大切であるが、この研究で示した分析方法では把握は困難である。その点については他の方法を試みている。

13. IT 化社会のエルゴノミクス課題

斉藤 進, 外山みどり

(独立行政法人産業医学総合研究所)

城内 博 (日本大学大学院理工学研究科)

丸本達也 (丸本眼科)

目的：情報技術 (IT) は、21 世紀初頭を飾る

時代のキーワードである。一般に、新技術の開発は両刃の剣である。IT も例外ではない。IT 化の進展は、人々の生活を便利で快適なものとする反面、職場のストレスを増加させ、働く人々の心身の健康障害を引起す場合がある。エルゴノミクスは人間工学とも呼ばれ、人と機械との好ましい関係を求める実践的の科学である。IT 化社会のエルゴノミクス課題を明確にすることにより、快適で豊かな IT 環境を実現する方策を探ることになる。

IT 化職場の特徴：VDT 利用者の疲労自覚症状調査からは、訴えの多くは、作業空間・照明条件・機器配置等の人間工学的因子と関わる事が指摘されている。例えば、IT 化職場にみられる最近の特徴として、ディスプレイの大型化とノート PC 利用の増加がある。

ディスプレイの大型化は、机上スペースを減少させるだけではなく、作業姿勢にも影響し、筋骨格系の負担を増加させる。さらに、画面注視時の視線が上向きとなることにより、眼球露出表面積の増加、斜位量の増加、調節安静位の遠方化等を引起す。ノート PC は、省スペース・省エネルギー・携帯性等の点で優れた機器であるが、一方、職場で恒常的に使うには、拘束姿勢・操作性低下・視覚疲労等からは人間工学的に配慮すべき事項も多い。キーボードとディスプレイが分離できず一体型であることは、利用者の姿勢を拘束し自由度を奪うことになる。

IT 化と高齢者や子どもたち：インターネットの急速な普及に代表されるように、従来の VDT 作業とは異なる高齢者や子どもたちも IT 化の影響を大きく受けることになる。高年齢 VDT 作業者の調査結果からは、加齢にともない訴えが増す項目は、視力低下と焦点調節が困難なことであった。これに対し、目の疲れや乾き、頭部や頸肩部の痛みやコリは若年者ほど強いことがわかった。IT 教育が導入された小学校では、子どもたちが成人用に設計された机・椅子・キーボード・ディスプレイを使用し、無理な姿勢で合わせている現状がある。児童生徒の学習時の姿勢と視力の関係を眼科学的に検討した結果、視力低下群では、視距離の極端な短縮、近点の延長、調節力低下等が示されている。学校のコンピュータ利用に関し、

エルゴノミクス上の考え方を導入する等、一層の配慮を期待したい。

一質疑応答一

木下：ディスプレイについて、最近明るすぎる傾向があると思われるが、明るさの上限値はあるのか。

齊藤：ディスプレイ輝度や作業面輝度に対する上限値を設定する等、何らかの規制やガイドラインが必要と考えている。

不二門：子供の近視と VDT の関係について教えて頂きたい。

齊藤：子供が調節する場合の過剰適応が問題と考えている。

14. fMRI による異常視覚皮質反応の検討

吉田正樹, 柴 琢也, 北原健二

(東京慈恵会医科大学眼科学講座)

井田正博 (都立荏原病院診療放射線科)

NGUYEN TH, STIEVENART JL

IBA-ZIZEN MT, CABANIS EA

(CHNO des XV-XX, UPMC

PARIS VI University)

目的：前回までの二回にわたる本研究会において、われわれは視覚提示刺激に対する後頭葉視覚皮質反応を検討する上で、機能的磁気共鳴画像法(以下 fMRI)の空間分解能、時間分解能を中心に提示し、その優れた非侵襲的機能評価法としての可能性を提示した。今回われわれは fMRI をもちいた異常皮質反応の検出について検討した。

方法：対象は正常被検者 2 名である。MR 画像は 1.5 T 臨床機を使用した。機能画像は Gradient echo EPI (TE: 60 ms, TR: 3000 ms, FOV: 192-240 mm, 64 matrix, slice 厚 4 mm) にて全脳を撮像し、賦活部位は高分解能 T1 強調 3 次元画像に重ねた。視覚刺激は、眼前に 6 D の乱視レンズを置いた場合、置かなかった場合を BOX-CAR モデルでの縞反転視標をもちいて後頭葉の反応を検討した。また、前回の [アニメーション等の映像手法に関するガイドライン] に抵触する可能性があるとして修正が加えられたテレビコマーシャルフィルム (以下 TVCM), 修正前および修

正後を提示時の画像解析に得られたデータを同様に BOX-CAR モデルで解析した。解析には SPM 99 を使用した。

結果：乱視レンズを置いた場合、置かなかった場合に比べ、腹側経路の皮質反応が低下した。一方、レンズをおかなかった場合に比べ明らかに背側経路の優位な賦活が観察された。また、TVCM 刺激においても修正前フィルムにおいては修正後フィルムに比較し乱視レンズを置いた場合で観察されたものと同様な背側経路の優位な賦活が観察された。

考案と結語：今回、人工的に作られた屈折異常によって観察された背側経路の賦活は、不完全な形態覚を修飾する反応であることが推定された。また、改定前 TVCM 提示時にみられた反応も同様な反応であることが推定された。fMRI は屈折異常や視覚誘発てんかんを惹起するといわれる基準に抵触する視覚刺激において、通常の視覚刺激と異なる皮質反応をとらえうることが示唆された。

一質疑応答一

板東：賦活化された部位の機能はどのように考えられるか。

吉田：Inspection であるが、網膜上の不快刺激というものに対する反応ではないかと思っている。

不二門：V3A は視差以外の奥行きの手がかりも処理されている。乱視のメガネによる刺激も不快刺激の activation に関係している可能性があるのでは。

吉田：その通りである。洗練された視差刺激になれば、ここを介して頭頂葉の賦活が確認される。

15. 2003 年実施日本眼科医会会員

アンケート調査報告

木下 茂 (IT 眼症と環境因子研究班班長)

① 2003 年度、日本眼科医会研究班のメンバーの不二門先生と共にアンケート調査を行い、研修医、勤務医から開業医まで年令も幅広く回収が出来、回収率は 20 数%であった。この数値については十分に良かったのではないと思われる。

② 眼精疲労という診断名をつけた場合、PC

によるものが 46%あることが判明した。また、眼精疲労には老視の初期段階のものと VDT 作業によるものがある。VDT の場合は PC 作業用のメガネでうまく調整をし、人工涙液の点眼などの処方をするなど、これらのコンビネーションで一般には治療を行い、老視初期の眼精疲労の場合には、近・遠近用のメガネの処方で対応し、必要に応じ人工涙液の点眼をするという事がわかった。

③ 屈折矯正についてであるが、眼精疲労を訴えた症例はないのが 62%で、臨床的な観点から見ると、眼精疲労について屈折矯正手術はあまり影響はしていないということが言える。

④ 二重焦点の CL について、メーカー側では老視の初期の処方に有効と言われているが、実際に有効と答えた方は 19%、わからないが 50%で興味深い結果となり、今後の状況を見る必要があると思われる。

⑤ モノビジョンを老視対策（特に CL）に意図的に使用していることが有効かについては、有効と回答した方が 23%、わからないが 55%、いいえが 19%ではっきりとした傾向がこのようなマスで捉えたときにはわからない。

⑥ 子供については、TV ゲームや携帯電話の画面を長時間見る場合など、多くの眼科医は近視化を助長するので控えるようにと言われている。残りの 20%は新しい時代に応じた機器なのでやむを得ないとしている。

⑦ 光過敏性テンカンという現象を 84%の眼科医が知っていて、15%知らないとのことであったので、もう少し努力して多くの眼科医に知らしめる必要を感じた。

⑧ 厚生労働省の VDT 作業指針を知っているかについては、知っているが 43%、知らないが 56%で、意識としてはレベルが低く、日本眼科医会・学会から認識を高めていく活動をしなければならぬだろう。

⑨ 眼精疲労の患者は増加していくのかについては、89%が増加すると答え、VDT・IT 眼症は増加するという認識が強いことがわかった。

以上、ベースラインのデータとしては非常に興味深いものであり、VDT 作業指針にはもっと普及啓発が必要なのではないかと感じる。このアン

ケート調査結果はさまざまな情報を持っているので、正確に文書化して報告書にまとめたいと思う。

—要望事項—

石川(哲)：このアンケートを含め、今回の研究班の成果として主に生理学的見地から優れた研究が発表された。この成果はこのグループだけの財産ではなく、もっと噛み砕いてもらい、他科の多くの医師に研究成果をやさしく知らせる必要があるので、積極的にPRに取り組んでいただきたい。VDT, IT に関する身体問題は眼科の研究臨床治療が最も大切である。労働関係の領域でも VDT の問題はこれからも増え続ける

と思われる。これらの団体とも手を組んで連携し、今後の活動を行っていただきたいと思う。

—コメント—

木下：本年8月に報告書をまとめる。ごく簡単な「眼精疲労とは？」という下敷き一枚を作成する。

日本眼科医会の研究班としては終了であるが、今後もグループディスカッションとして継続してくかについては、関係の先生方と相談し、意味があるということであれば今後もプログラム委員会と共に考えていきたい。3年間ありがとうございました。

眼精疲労に関する 2003 年度全国アンケート調査報告

木下 茂・東原 尚代

(京都府立医科大学視覚機能再生外科学)

不二門 尚

(大阪大学医学部感覚機能形成学)

〔要 約〕

わが国の眼精疲労に関する眼科診療の実態調査を行うため、日本眼科医会会員すべてにアンケート用紙を送付し調査を行った。その結果、1ヶ月に眼精疲労の診断名をつける患者数を10例以上とした医療機関は約50%であった。眼精疲労で受診する患者の主訴では、眼痛、乾燥感、充血、視力低下など多彩であった。眼精疲労の患者に対して行う問診（重複可）のうち、職場環境に関しては、コンピュータ画面を見るVDT作業時間が64%、冷暖房や照明が38%であった。一方、個人の状況に関しては、眼鏡もしくはCLについてが85%を占めた。眼精疲労の患者に主として行う検査では、通常装用眼鏡あるいはCLでの遠見近見完全矯正視力が81%を占めた。調節検査では、遠見完全矯正下での調節近点測定が29%、近点計による調節力測定が27%、眼位・輻湊検査では遮閉検査が67%を占め、涙液検査では、生体染色・ブレイクアップ時間が75%、シルマー検査が57%であった。VDT作業者の眼精疲労の患者に対して行う主たる治療は、ビタミンB₁₂点眼処方が66%、近見眼鏡処方が40%であった。一方、老視初期の眼精疲労の患者に対して行う主

たる治療は、ビタミンB₁₂点眼処方が55%、近見眼鏡処方が74%であった。眼精疲労という病名をつけた原因としては、VDT作業が35%、ドライアイが26%、老視が24%、不適切な眼鏡もしくはCLが22%を占めた。

屈折矯正手術後の患者で眼精疲労を訴えた症例はあるかとの問いに対して「なし（経験なし）」が62%であった。老視対策として、屈折矯正手術、2重焦点CL、モノビジョンが有効か否かについては、いずれも「わからない」「いいえ」が大半を占めた。

交通外傷後の眼精疲労は「機能的な障害である」との回答を46%から得たが、詐盲の鑑別や保険や訴訟が絡むことから診断書作成や治療に対しては消極的な意見が目立った。また、小児がテレビゲームや携帯電話画面を長時間見ることは、否定的な意見が65%を占めた。

急速なIT化にとまぬ、あらゆる年代においてVDT作業による眼精疲労の増加が予想される。今後、VDT作業の普及による青壮年の眼精疲労だけでなく、小児への近視の影響や高齢化社会における眼精疲労や老視対策が求められる。

I. 緒 言

眼精疲労は眼の病的な疲労であり、休息によっても容易に回復しないのが特徴である。近年、オフィスのIT（Information Technology）化、

インターネットや携帯電話の急速な普及、コンピュータ使用の低年齢化などに伴い、あらゆる年代で眼精疲労の患者が増加しており、今や眼精疲労は社会問題化しているといっても過言ではない。しかし、眼精疲労の頻度や背景、対策などについてそ

表1 アンケート用紙

2003年度日本眼科医会会員アンケート調査表		
<p>各項目の当てはまる番号に○をつけてください。必要に応じてかっこ内への記入をお願い致します。</p> <p>1. 先生のご年齢 ①24～29歳 ②30～39歳 ③40～49歳 ④50～59歳 ⑤60歳以上</p> <p>2. 先生が、1ヶ月に眼精疲労の診断名をつける患者さんの頻度 ①0～5例 ②6～10例 ③11～20例 ④20～30例 ⑤30例以上</p> <p>3. 勤務形態 ①大学病院 ②官立病院 ③私立総合病院 ④私立眼科医院(個人病院を含む) ⑤医院・診療所 ⑥その他 ()</p> <p>4. 眼精疲労の診断をする際、根拠とする主訴で多いものに○をつけてください(複数可)。 1) 眼痛 ①眼が重い ②眼の奥が痛い ③眼をあけているのがつらい ④頭痛がする ⑤その他 () 2) 前眼部症状 ①涙液がある ②充血する ③羞明感がある ④熱感がある ⑤乾燥感がある ⑥その他 () 3) 視察感 ①ぼやける ②かすむ ③焦点が合わない ④ちらつく ⑤視力が低下した感じがある ⑥その他 ()</p> <p>5. 眼精疲労の患者さんに対して主として問診する項目に○をつけてください(複数可)。 1) 職場の環境 ①コンピューター画面を見ている時間 ②コンピューターの種類(ラップトップか、デスクトップかなど) ③照明環境 ④冷暖房の環境 ⑤仕事へのプレッシャー ⑥人間関係 ⑦その他 () 2) 個人の状況 ①眼鏡(CL)を装着して近業を行うか ②眼鏡(CL)はいま変更したか ③頭部打撲の既往の有無 ④むち打ち症の既往の有無 ⑤その他 ()</p> <p>6. 眼精疲労の患者さんに対して主として行う検査に○をつけてください(複数可)。 1) 視力検査 ①通常装着している眼鏡(CL)での遠見視力 ②通常装着している眼鏡(CL)での近見視力 ③遠見完全矯正視力 ④近見完全矯正視力 ⑤その他 ()</p>		<p>2) 調節検査 ①遠見完全矯正下での調節近点測定 ②近点計による調節力測定 ③アコモドホリレコーダーによる調節測定 ④赤外線オートメーターによる調節測定 ⑤その他 () 3) 眼位、輻湊検査 ①遠閉試験 ②プリズム遠閉試験 ③調節指標による輻湊近点 ④大型弱視鏡による融像幅 ⑤その他 () 4) 涙液検査 ①シルマー検査 ②ブレイクアップ時間 ③生体染色検査 ④その他 () 5) その他の検査 ①眼圧検査 ②細除灯顕微鏡検査 ③アニーセイコニアテスト ④電子瞳孔計による瞳孔測定 ⑤その他 ()</p> <p>7. 眼精疲労に対して、主として行う治療について○をつけてください(複数可)。 1) VDT作業者の眼精疲労 ①B12の点眼 ②人工涙液の点眼 ③調節麻痺の点眼(眼前) ④ビタミン剤の内服 ⑤コンピューター作業用のめがね処方 ⑥その他 () 2) 老視初期の眼精疲労 ①B12の点眼 ②調節麻痺の点眼(眼前) ③近見用めがね処方 ④遠近両用めがね処方 ⑤低矯正のめがね処方(近視患者) ⑥その他 ()</p> <p>8. 眼精疲労という病名をつけた原因として多いものに○をつけてください(複数可)。 ①コンピューター(VDT)作業 ②ドライアイ ③線内障 ④斜位 ⑤老視 ⑥不適切な眼鏡(CL) ⑦屈折異常 ⑧その他 ()</p> <p>9. 眼精疲労という病名をつけた年齢層として多いものに○をつけてください(複数可)。 ①20歳以下 ②20～29歳 ③30～39歳 ④40～49歳 ⑤50～59歳 ⑥60歳以上</p> <p>10. 屈折矯正手術後の患者さんで、眼精疲労を訴えた症例はありますか? ①はい ②いいえ</p> <p>11. 老視年齢の患者さんに屈折矯正手術をすすめていますか? ①はい ②いいえ</p> <p>12. 老視に対する手術療法は有用だと思いますか? ①はい ②いいえ ③わからない</p> <p>13. 2重焦点コンタクトレンズは眼精疲労防止に有効だと思いますか? ①はい ②いいえ ③わからない</p>
<p>14. モノビジョンは、老視対策に有効だと思いますか? ①はい ②いいえ ③わからない</p> <p>15. 交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状に対してどう考えますか? ①機能的な障害である ②器質的な障害である ③わからない</p> <p>16. 交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状に対して診断書はどのようにしますか? ①書かない ②調節力低下があれば調節障害の診断書を書く ③その他 ()</p> <p>17. 交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状に対して、詐冒との鑑別をどのようにしますか(複数可)? ①行動と視力の解離をみる ②立体視検査などの検査との整合性をみる ③パターン視覚誘発電位検査を行う ④視運動性眼振抑制検査を行う ⑤その他 ()</p> <p>18. 交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状に対して、どのような検査を行っていますか(複数可)? ①矯正視力検査 ②近見視力検査 ③調節検査 ④視野検査 ⑤視覚誘発電位検査 ⑥その他 ()</p> <p>19. 交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状に対して、どのような治療を行っていますか(複数可)? ①トロピカミド点眼 ②低濃度塩酸シクロペントレート点眼 ③低濃度アトロピン点眼 ④ATP内服 ⑤その他 ()</p> <p>20. 小児がテレビゲーム画面や携帯電話画面を長時間見ることに対して、どのように考えますか。 ①近視化を助長するので控えるように指導する ②新しい時代に応じた機器なのでやむを得ない ③その他 ()</p> <p>21. 光過敏性てんかんという言葉を知っていますか? ①はい ②いいえ</p> <p>22. 厚生労働省のVDT作業の指針を知っていますか? ①はい ②いいえ</p> <p>23. 今後眼精疲労の患者さんは、増加すると思いますか? ①はい ②いいえ ③わからない</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>コメントご意見等がございましたら、お願いします。</p> </div> <p style="text-align: center;">貴重なお時間をお使い頂き、有難うございました。 2003年6月</p> <p style="text-align: center;">アンケート作成 日本眼科医会IT眼症と環境因子研究班 班長 木下 茂 不二門 尚</p>	

の実態は十分に把握されていないのが現状である。そこで、今回、我々は眼精疲労の現状を把握するため、日本眼科医会会員の協力を得て眼精疲労についてのアンケート調査を実施したので、その結果を報告する。

II. 対象と方法

アンケート調査は2003年6月に実施し、全国の日本眼科医会会員にアンケート用紙を郵送した(表1)。今回の調査の質問項目は、眼精疲労、老視、交通外傷、その他、の大きく4つからなり、日常診療において該当する項目に印をつけた用紙を回収した(複数回答可)。

III. 結果

回答は2852人から頂き、回答率は22.3%であった。回答いただいた眼科医の年齢と勤務形態は図1, 2に示すとおりである。

1. 眼精疲労について(設問4~9)

① 1ヶ月に眼精疲労の診断名をつける患者の頻度

1ヶ月に眼精疲労の診断名をつける患者の頻度は、「0~5例」22%、「6~10例」26%、「11~20

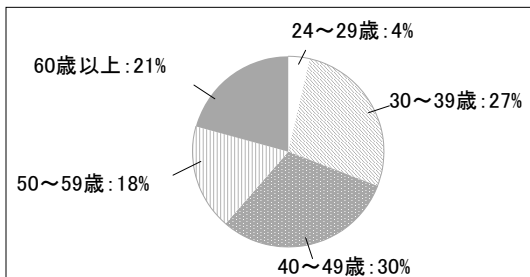


図1 回答医師の年齢

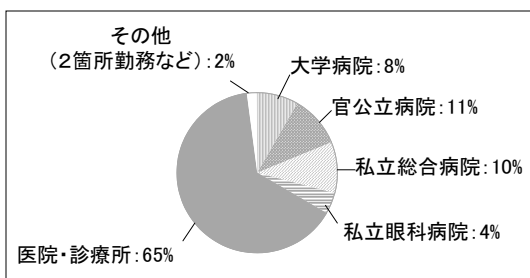


図2 回答医師の勤務形態

例」24%、「20~30例」14%、「30例以上」12%、「無回答」2%であった(図3)。

② 眼精疲労の診断をする際、根拠とする主訴で多いもの(複数可)

1) 眼痛

眼痛では「眼が重い・眼の奥が痛い」23%、「眼の奥が痛い」13%、「眼が重い・眼の奥が痛い・眼を開けているのがつらい・頭痛がする」10%、「眼が重い」10%、「眼が重い・眼の奥が痛い・頭痛がする・その他」8%、「眼が重い・眼の奥が痛い・眼を開けているのがつらい」7%、「眼の奥が痛い・頭痛がする」5%、「眼の奥が痛い・眼を開けているのがつらい」5%、「眼が重い・眼を開けているのがつらい」4%、「その他」14%、「無回答」1%であった(図4-①)。

2) 前眼部症状

前眼部症状では、「乾燥感」16%が多く、次いで「充血」10%、「充血・乾燥感」9%、「熱感」7%、「熱感・乾燥感」5%、「羞明感・乾燥感」4%、「羞明感」4%、「流涙・乾燥感」4%、「その他」29%、「無回答」12%であった(図4-②)。

3) 視蒙感

視蒙感は、「焦点が合わない」13%、「かすむ」9%、「ぼやける・かすむ・焦点が合わない」8%、「ぼやける・かすむ・焦点が合わない・視力低下感」6%、「かすむ・焦点が合わない」6%、「ぼやける・焦点が合わない」6%、「ぼやける」6%、「ぼやける・焦点が合わない・ちらつく・視力低下感」4%、「焦点が合わない・視力低下感」4%、「その他」34%、「無回答」4%であった(図4-③)。

③ 眼精疲労の患者に対して問診する項目で多いもの(複数可)

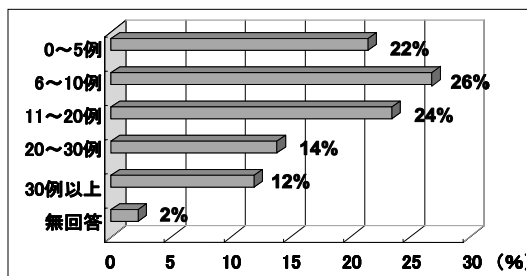


図3 1ヶ月に眼精疲労と診断名をつける患者の頻度 (n=2852)

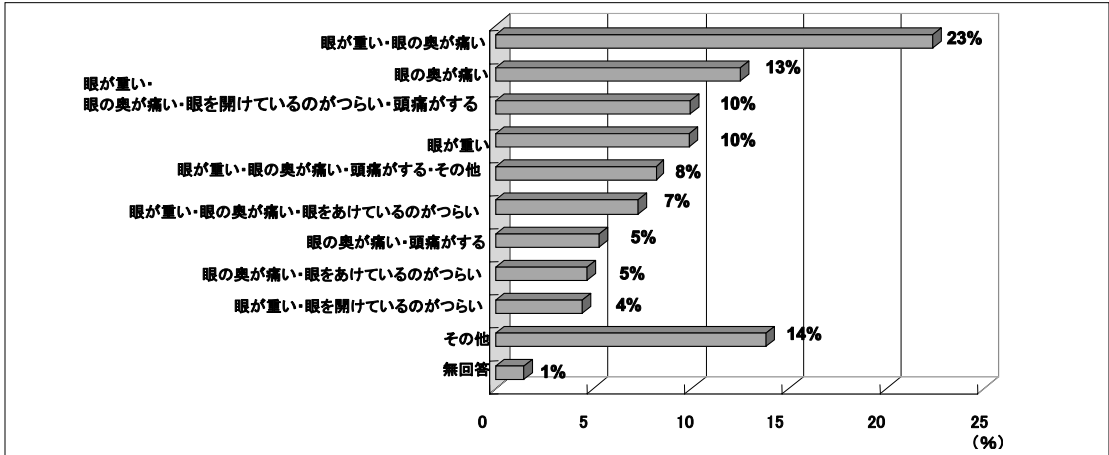


図 4-① 眼精疲労の診断をする際、根拠とする主訴で多いもの (n=2852)：眼痛

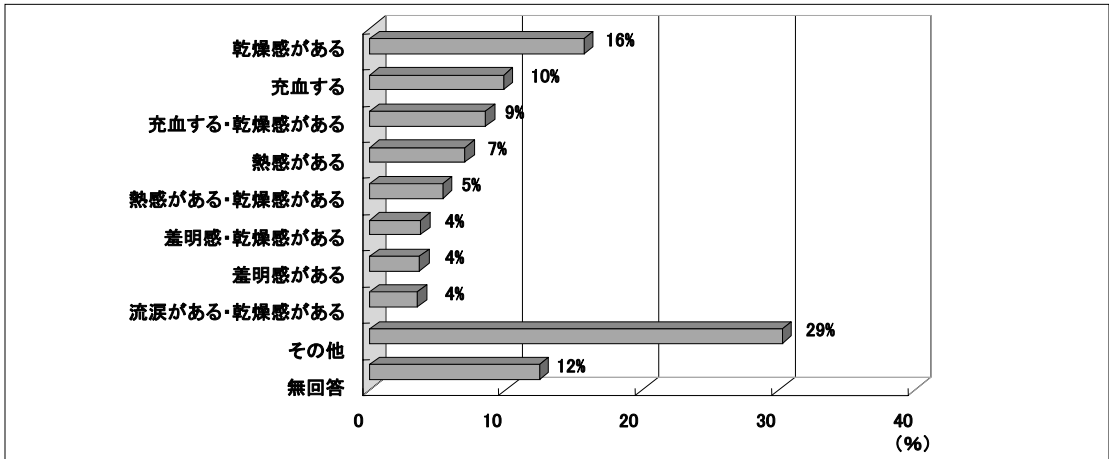


図 4-② 眼精疲労の診断をする際、根拠とする主訴で多いもの (n=2852)：前眼部症状

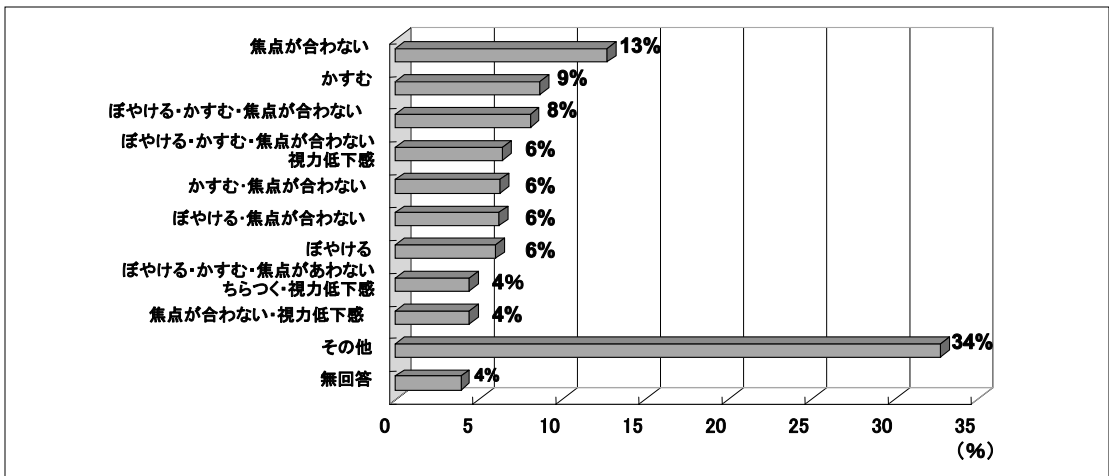


図 4-③ 眼精疲労の診断をする際、根拠とする主訴で多いもの (n=2852)：視蒙感

1) 職場の環境

職場の環境では、「コンピュータ画面を見ている時間」22%、「コンピュータ画面を見ている時間・冷暖房の環境」19%、「コンピュータ画面を見ている時間・照明環境・冷暖房の環境」8%、「コンピュータ画面を見ている時間・照明環境」7%、「コンピュータ画面を見ている時間・仕事へのプレッシャー」4%、「コンピュータ画面を見ている時間・コンピュータの種類・照明環境・冷暖房の環境」4%、「その他」34%、「無回答」2%であった(図5-①)。

2) 個人の状況

個人の状況では、「眼鏡(CL)を装着して近業を行うか・眼鏡(CL)はいつ変更したか」47%、「眼鏡(CL)を装着して近業を行うか」23%、

「眼鏡(CL)を装着して近業を行うか・眼鏡(CL)はいつ変更したか・むち打ち症の既往の有無」6%、「眼鏡(CL)を装着して近業を行うか・眼鏡(CL)はいつ変更したか・頭部打撲の既往の有無・むち打ち症の既往の有無」5%、「眼鏡(CL)はいつ変更したか」4%、「その他」13%、「無回答」2%であった(図5-②)。

④ 眼精疲労の患者に対して主として行う検査(複数可)

1) 視力検査

視力検査では、「通常装着している眼鏡(CL)での遠見近見視力・遠見近見完全矯正視力」52%、「通常装着している眼鏡(CL)での遠見近見視力」12%、「通常装着している眼鏡(CL)での遠見近見視力・遠見完全矯正視力」12%、「通常装着し

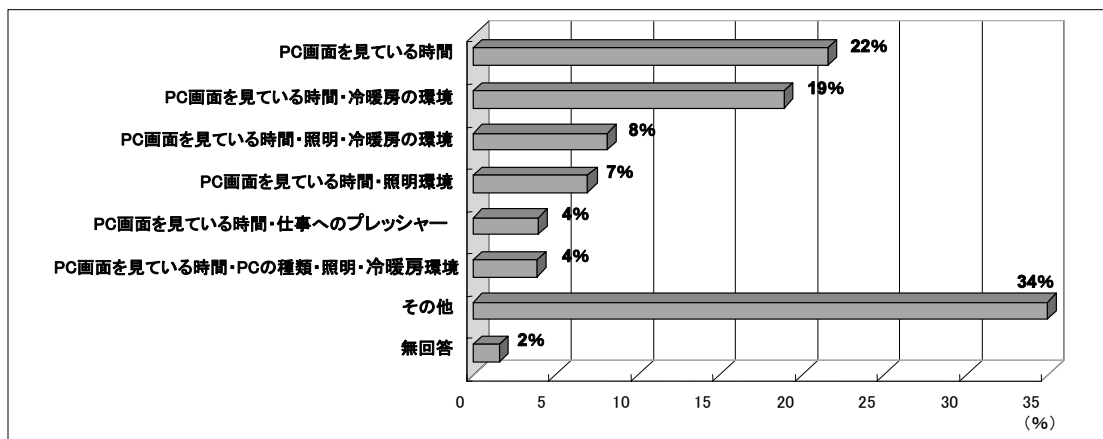


図5-① 眼精疲労の患者さんに対して主として問診する項目 (n=2852)：職場の環境

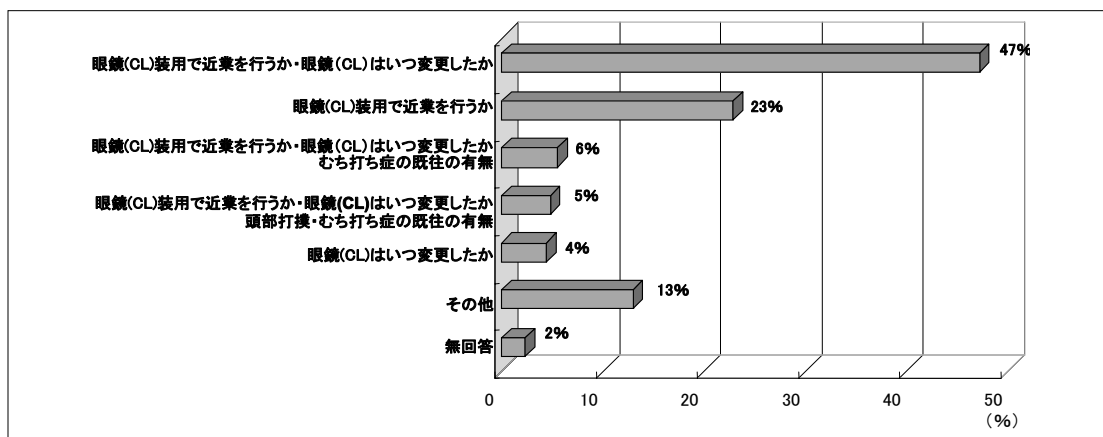


図5-② 眼精疲労の患者さんに対して主として問診する項目 (n=2852)：個人の状況

ている眼鏡（CL）での遠見視力・遠見完全矯正視力」5%、「その他」21%であった（図6-①）。

2) 調節検査

調節検査では、「遠見完全矯正下での調節近点測定」21%、「近点計による調節力測定」19%、「遠見完全矯正下での調節近点測定・近点計による調節力測定」8%、「アコモドポリレコーダーによる調節測定」7%、「その他」8%、「無回答」37%であった（図6-②）。

3) 眼位・輻湊検査

眼位・輻湊検査では、「遮閉検査」52%、「遮閉検査・調節視力による融像幅」8%、「遮閉検査・プリズム遮閉検査」7%、「調節指標による輻湊近点」4%、「その他」10%、「無回答」19%であった（図6-③）。

4) 涙液検査

涙液検査では、「シルマー検査・ブレイクアップ時間・生体染色検査」24%、「ブレイクアップ時間・生体染色検査」18%、「シルマー検査」14%、「シルマー検査・生体染色検査」13%、「生体染色検査」8%、「ブレイクアップ時間」6%、「シルマー検査・ブレイクアップ時間」6%、「その他」3%、「無回答」8%であった（図6-④）。

5) その他の検査

その他の検査では、「眼圧検査・細隙灯顕微鏡検査」83%、「眼圧検査・細隙灯顕微鏡検査・その他」4%、「細隙灯顕微鏡検査」4%、「その他」7%、「無回答」2%であった（図6-⑤）。

⑤ 眼精疲労に対して、主として行う治療について（複数可）

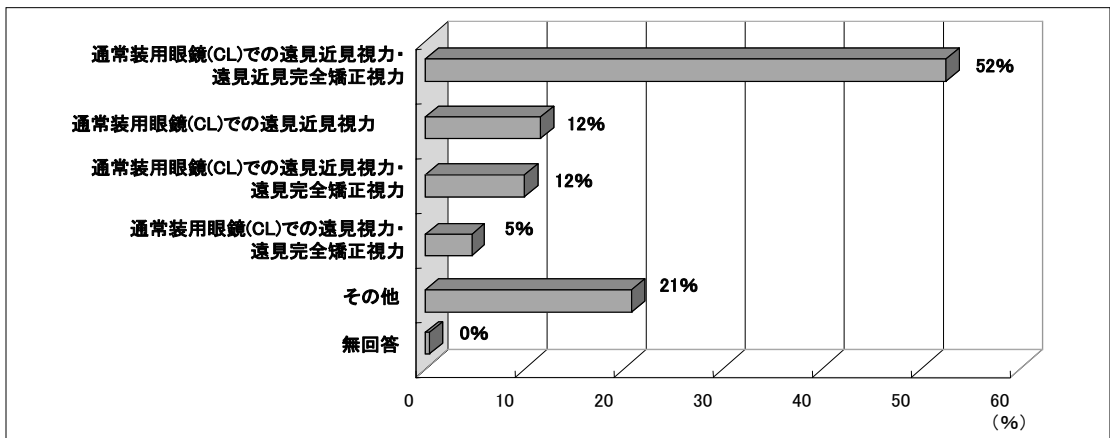


図6-① 眼精疲労の患者さんに対して主として行う検査（n=2852）：視力検査

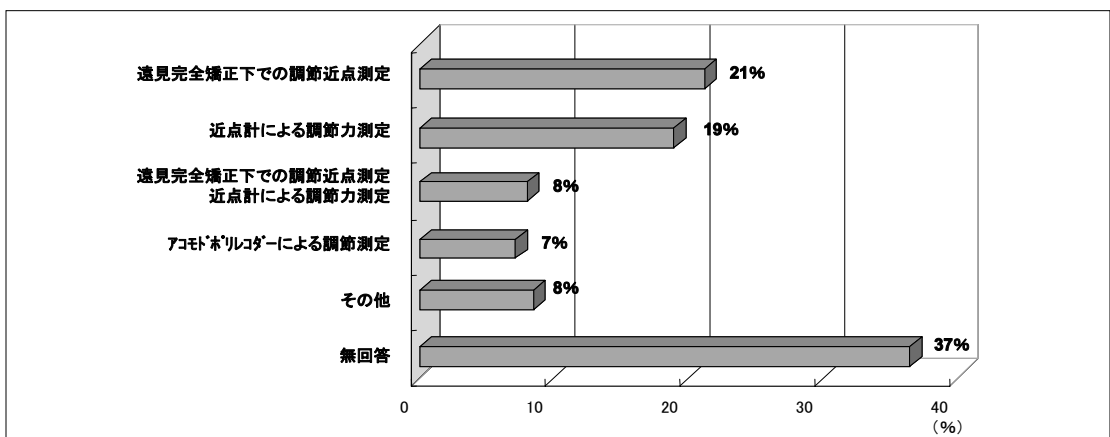


図6-② 眼精疲労の患者さんに対して主として行う検査（n=2852）：調節検査

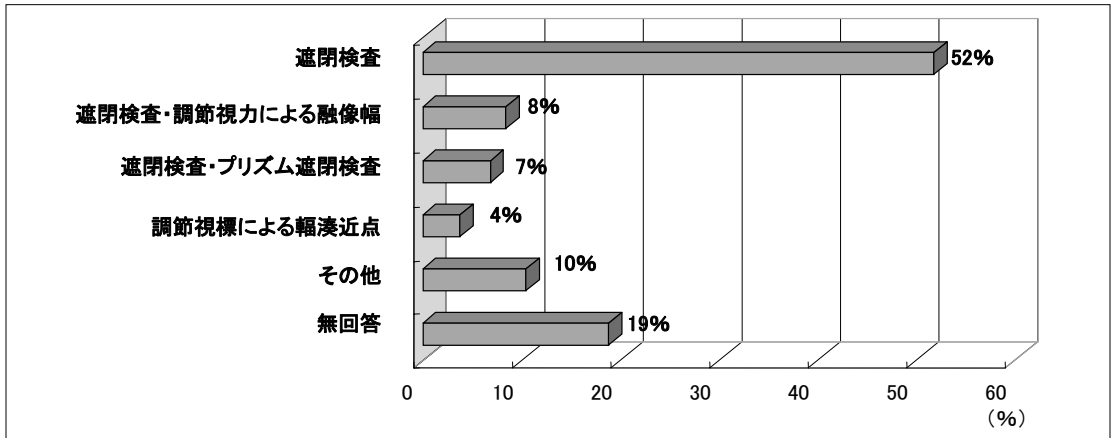


図 6-③ 眼精疲労の患者さんに対して主として行う検査 (n=2852)：眼位・輻湊検査

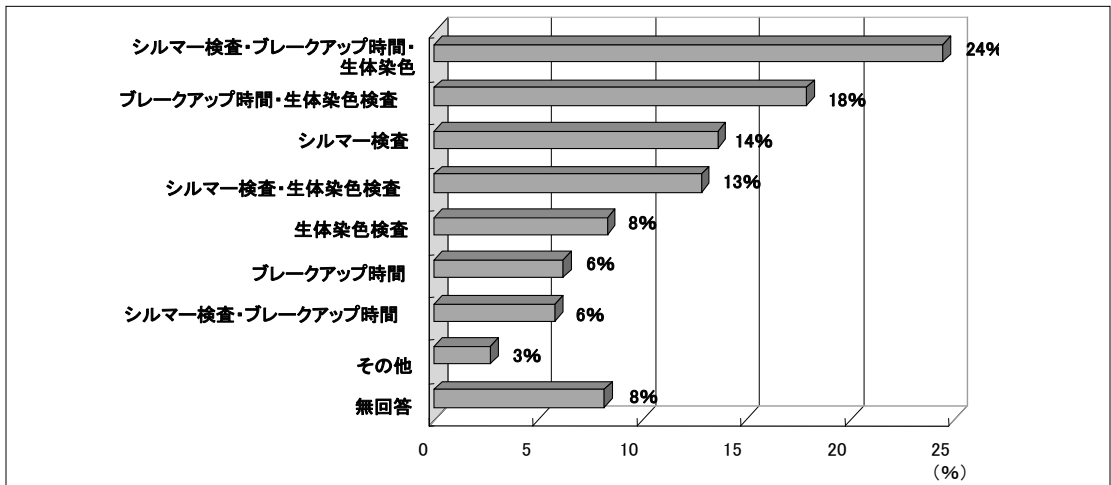


図 6-④ 眼精疲労の患者さんに対して主として行う検査 (n=2852)：涙液検査

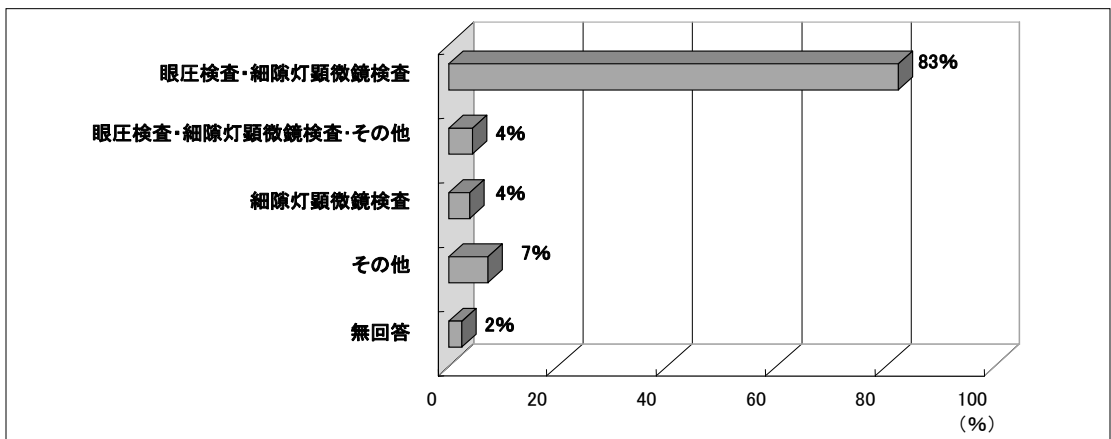


図 6-⑤ 眼精疲労の患者さんに対して主として行う検査 (n=2852)：その他の検査

1) VDT 作業者の眼精疲労

VDT 作業者の眼精疲労に対しては、「B₁₂ の点眼・人工涙液の点眼・コンピュータ作業用のめがね処方」20%、「B₁₂ の点眼・人工涙液の点眼」14%、「B₁₂ の点眼・コンピュータ作業用のめがね処方」10%、「B₁₂ の点眼」8%、「人工涙液の点眼・コンピュータ作業用のめがね処方」6%、「B₁₂ の点眼・人工涙液の点眼・ビタミン剤の内服・コンピュータ作業用のめがね処方」4%、「その他」37%、「無回答」1%であった（図 7-①）。

2) 老視初期の眼精疲労

老視初期の眼精疲労に対しては、「B₁₂ の点眼・近見用めがね処方」16%、「B₁₂ の点眼・近見用め

がね処方・低矯正のめがね処方」14%、「B₁₂ の点眼・近見用めがね処方・遠近両用めがね処方・低矯正めがね処方」13%、「近見用めがね処方」11%、「近見用めがね処方・低矯正めがね処方」8%、「B₁₂ の点眼・近見用めがね処方・遠近両用めがね処方」6%、「近見用めがね処方・遠近両用めがね処方・低矯正めがね処方」6%、「B₁₂ の点眼」6%、「その他」19%、「無回答」1%であった（図 7-②）。

⑥ 眼精疲労という病名をつけた原因として多いもの（複数可）

眼精疲労と病名をつけた原因は、「コンピュータ（VDT）作業・ドライアイ」7%、「コンピュー

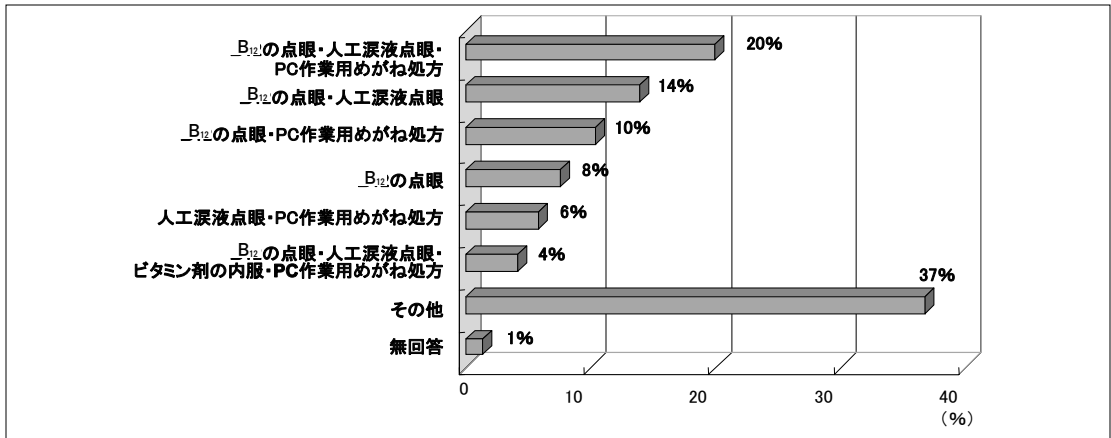


図 7-① 眼精疲労の患者さんに対して主として行う治療 (n=2852) : VDT 作業者の眼精疲労

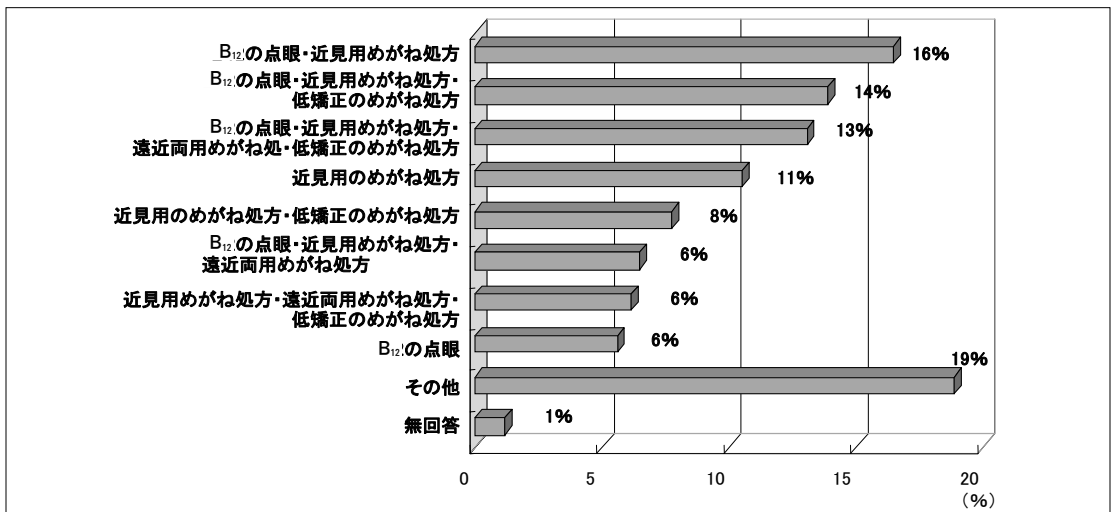


図 7-② 眼精疲労の患者さんに対して主として行う治療 (n=2852) : 老視初期の眼精疲労

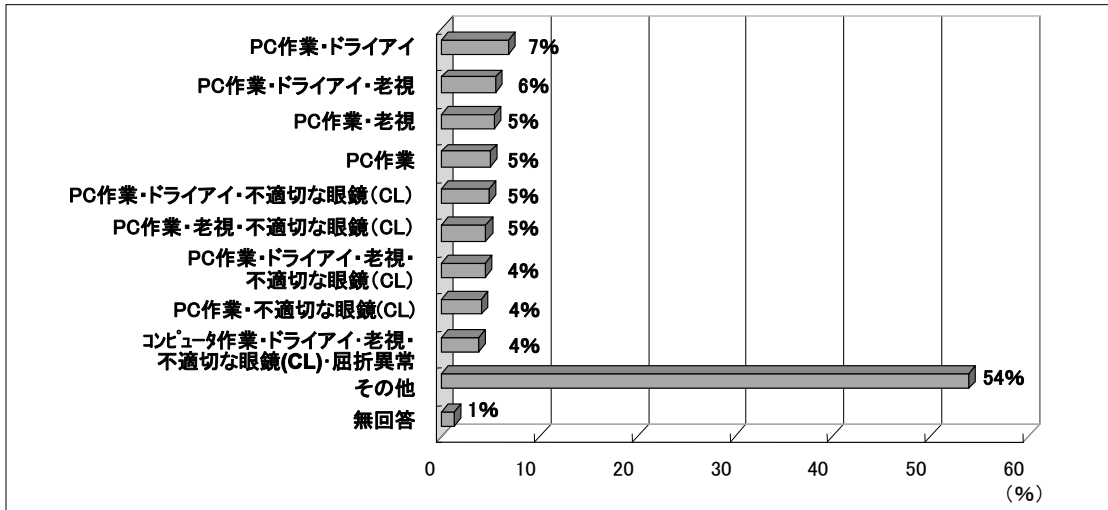


図8 眼精疲労という病名をつけた原因 (n=2852)

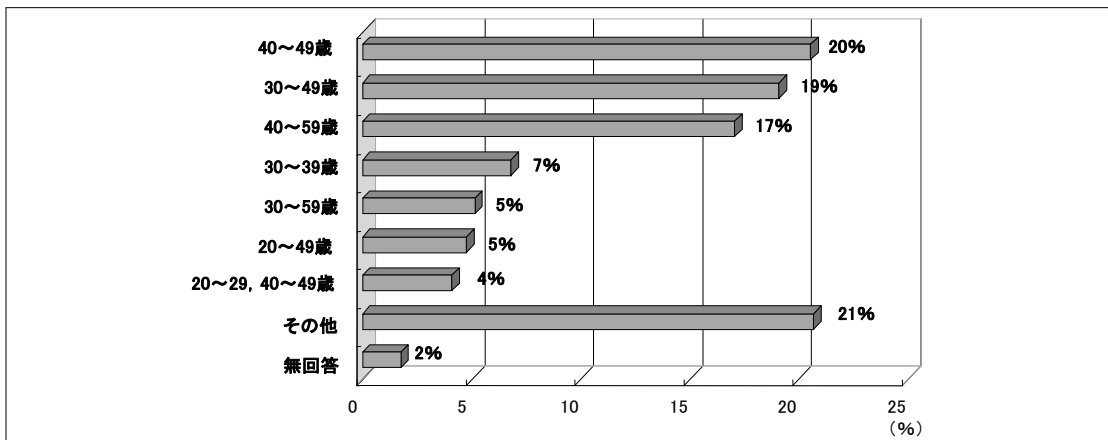


図9 眼精疲労という病名をつけた年齢層 (n=2852)

タ (VDT) 作業・ドライアイ・老視」6%、「コンピュータ (VDT) 作業・老視」5%、「コンピュータ (VDT) 作業」5%、「コンピュータ (VDT) 作業・ドライアイ・不適切な眼鏡 (CL)」5%、「コンピュータ (VDT) 作業・老視・不適切な眼鏡 (CL)」5%、「コンピュータ (VDT) 作業・ドライアイ・老視・不適切な眼鏡 (CL)」4%、「コンピュータ (VDT) 作業・不適切な眼鏡 (CL)」4%、「コンピュータ (VDT) 作業・ドライアイ・老視・不適切な眼鏡 (CL)・屈折異常」4%、「その他」54%、「無回答」1%であった (図8)。

⑦ 眼精疲労と病名をつけた年齢層で多いもの (複数可)

眼精疲労と病名をつけた年齢層は、「40～49歳」20%、「30～49歳」19%、「40～59歳」17%、「30～39歳」7%、「30～59歳」5%、「20～49歳」5%、「20～29, 40～49歳」4%、「その他」21%、「無回答」2%であった (図9)。

2. 屈折矯正手術, 老視について (設問 10～14)

屈折矯正手術後に眼精疲労を訴えた症例はあるかの設問には、「なし (経験なしを含む)」62%、「あり」18%、「無回答」20%であった (図10)。また、老視年齢の患者に対し屈折矯正手術をすすめているかの設問には、「いいえ (経験なしを含

む)」97%、「はい」2%、「無回答」1%であった(図11)。老視に対する手術療法は有用だと思ふかの設問に対し、「わからない」51%、「いいえ」46%、「はい」2%、「無回答」1%であった(図

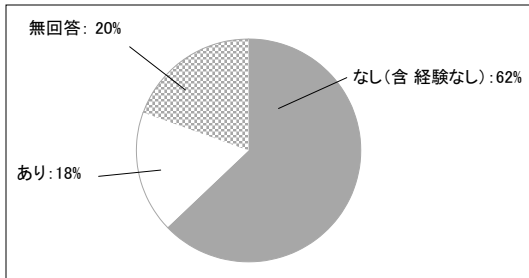


図10 屈折矯正術後に眼精疲労を訴えた症例(n=2852)

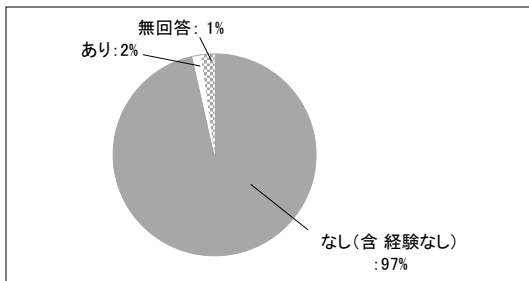


図11 老視年齢者への屈折矯正手術のすすめ(n=2852)

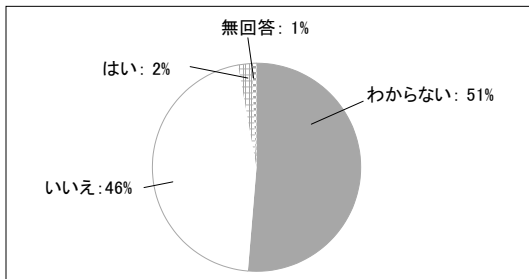


図12 老視に対する手術療法は有効か(n=2852)

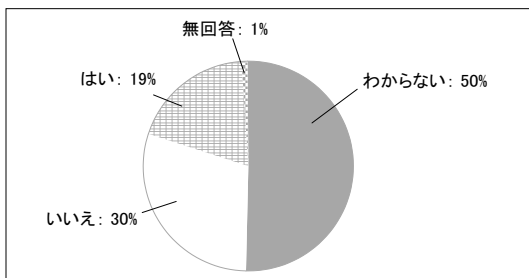


図13 2重焦点コンタクトレンズは眼精疲労防止に有効か(n=2852)

12)。2重焦点コンタクトレンズは眼精疲労防止に有用だと思ふかの設問に対し、「わからない」50%、「いいえ」30%、「はい」19%、「無回答」1%であった(図13)。さらに、モノビジョンは老視対策に有効かという設問に対し、「わからない」55%、「はい」23%、「いいえ」19%、「無回答」3%であった(図14)。

3. 交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状について(設問15~19)

交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状に対してどう考えるかの設問に対し、「機能的な障害である」46%、「わからない(経験なしを含む)」37%、「器質的な障害である」12%、「その他(機能的・器質的障害の両方であるなど)」3%、「無回答」2%であった(図15)。また、交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼症状への診断書はどのようにするかという設問に対し、「調節力低下があれば調節障害の診断書を書く」64%、「書かない」20%、「その他」12%、「無回答」4%であった(図16)。

交通外傷後(いわゆるむち打ち症を含む)の眼

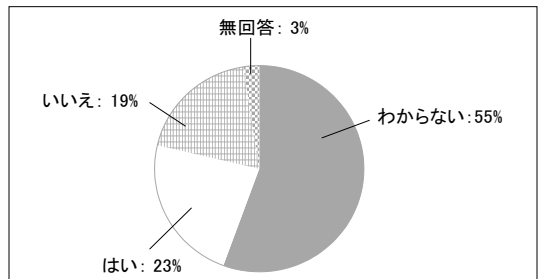


図14 モノビジョンは老視対策に有効か(n=2852)

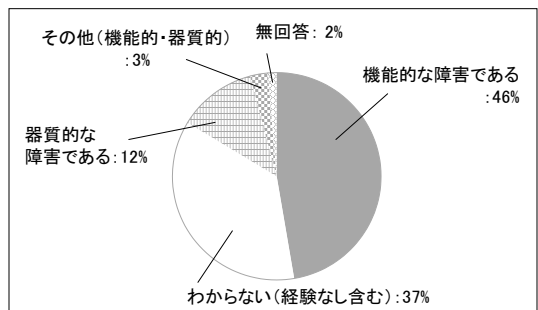


図15 交通外傷後(むち打ち症を含む)の眼症状について(n=2852)

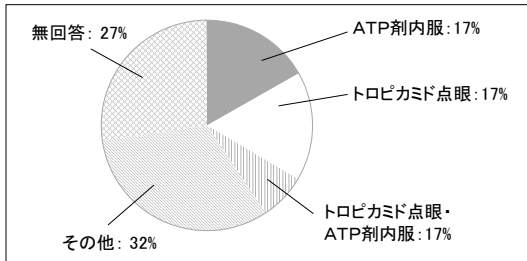


図 19 交通外傷後（むち打ち症を含む）の眼症状への治療（n=2852）

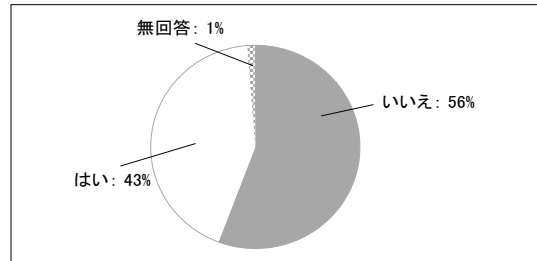


図 22 厚生労働省のVDT作業の指針を知っているか（n=2852）

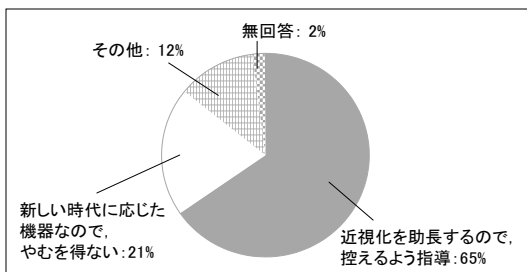


図 20 小児がテレビゲームや携帯電話画面を長時間見ることについて（n=2852）

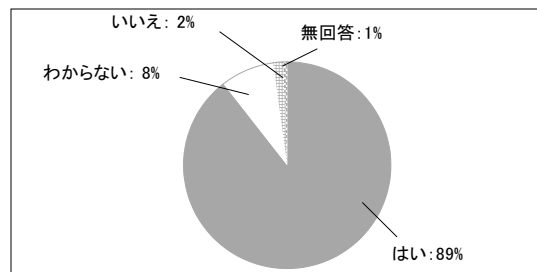


図 23 今後、眼精疲労の患者は増加すると思うか（n=2852）

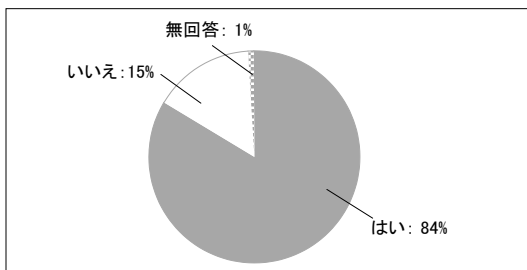


図 21 光過敏性てんかんという言葉を知っているか（n=2852）

査・調節検査・視野検査・視覚誘発電位検査」4%、「矯正視力検査・視野検査」4%、「その他」19%、「無回答」3%であった（図18）。

交通外傷後（いわゆるむち打ち症を含む）の眼症状に対して、どのような治療を行っているかの設問に対し、「ATP 剤内服」17%、「トロピカミド点眼」17%、「ATP 剤内服・トロピカミド点眼」17%、「その他」32%、「無回答」27%であった（図19）。

4. 小児のテレビゲームとVDT作業など、その他（設問20～23）

小児がテレビゲーム画面や携帯電話画面を長時

間見ることに對して、どのように考えるかの設問に対し、「近視化を助長するので控えるように指導する」65%、「新しい時代に応じた機器なのでやむを得ない」21%、「その他」12%、「無回答」2%であった（図20）。

光過敏性てんかんという言葉を知っているかの設問に対し、「はい」84%、「いいえ」15%、「無回答」1%であった（図21）。

厚生労働省のVDT作業の指針を知っているかの設問に対し、「いいえ」56%、「はい」43%、「無回答」1%であった（図22）。

今後、眼精疲労の患者は増加するかの設問に対し、「はい」89%、「わからない」8%、「いいえ」2%、「無回答」1%であった（図23）。

IV. 考 按

1. 眼精疲労について

① 1ヶ月に眼精疲労の診断名をつける患者の頻度について

近年、オフィスのIT化やインターネット・携帯電話の普及により眼精疲労をはじめとする様々な健康障害が現れていることが注目されている。

厚生労働省が1999年に行った「技術革新と労働に関する実態調査」では、コンピュータ機器を使った作業従事者のうち、身体的疲労の自覚症状を感じている人は全体の約8割にも達することが判明した。

今回の結果では、1ヶ月に眼精疲労の診断名をつける患者の頻度は10例以上が約50%を占め、その中に30例以上との回答を12%に認めた。眼の疲れ・痛みを訴える人が眼科を受診する割合が増加していることが推察された。しかし、「原因がはっきりしないものを眼精疲労と診断する」、「患者の希望でB₁₂点眼を処方し、レセプト診断名として眼精疲労の診断名をつける」といった回答もあり、診断が難しい症状を眼精疲労と診断し安易に片付けられる傾向があるようである。その一方で、「眼精疲労は屈折異常やドライアイなどの原因が必ずあるため、極力、眼精疲労と診断しないようにしている」「眼精疲労を訴える患者には注意深い診療・検査を行う」という意見も寄せられた。

② 眼精疲労の診断をする際、根拠とする主訴で多いもの

「眼精疲労」は眼の病的な疲労であり、休息によっても容易に回復しないのが特徴である。鈴木は眼精疲労の発症要因を外環境要因、視器要因、内環境要因・心的要因の3つに分類し、眼精疲労を3者のバランスの崩れとして説明した¹⁾。ここでは、外環境要因とはVDT (video display terminals) 作業、冷暖房などによる刺激を指し、視器要因とは屈折異常や輻湊障害、斜位などの眼科的異常を指し、内環境要因・心的要因は、人間関係や仕事へのプレッシャーなど様々なストレスを指すとした。このように、眼精疲労の原因には複数の要因が存在することを常に念頭に置き、詳細な問診を行い診断しなければいけない。

眼精疲労の症状は漠然としたものが多く多彩である。また「過度の調節・輻湊による」疲労を生じさせる結果、患者は眼痛などを訴える。こういった症状を悪化させる背景には、調節痙攣や斜位、慢性的な睡眠不足など筋肉の疲労回復を遅延させる要因があることも考えなければならない。実際、今回の結果では眼精疲労と診断する際の根拠とす

る主訴に、「眼が重い」「眼の奥が痛い」「眼をあけているのがつらい」が75%を占めた。前眼部症状では、「乾燥感」「充血」「熱感」などを聴取する回答が約半数を占め、ドライアイが眼精疲労の原因になると考える眼科医が多いようであった。実際、我々が2000年から2002年までに行ったオフィスワーカー1025人を対象としたドライアイの大規模疫学調査によると、オフィスワーカーのほぼ3人に1人がドライアイと診断されたことから、オフィスにおけるVDT作業環境がドライアイを誘発し眼精疲労を生じさせようという結果を得ている。

視蒙感など見え方に関する症状は、屈折異常や眼位異常、近見反応時の調節・瞳孔・輻湊の異常の関与が考えられる。今回の結果では、眼精疲労の診断をする際の根拠とする主訴で、視蒙感に関する問には、「焦点が合わない」「かすむ」「ぼやける」「視力低下感」が約60%を占めた。後にも述べるが、視蒙感の背景には眼鏡 (CL) の不適切な装用が原因と考えられる症例がある。コメントにも「眼鏡店で処方された眼鏡を装用している人、コンタクトレンズを安易に量販店で購入し眼科医による定期検査を受けない人に眼精疲労を訴えることが多い」という意見を多く認めた。適切な眼鏡やコンタクトレンズを装用させること、コンタクトレンズユーザーの安易な考えを改めさせることが必要である。

③ 眼精疲労の患者に対して主として問診する項目

眼精疲労の診断には問診がもっとも重要であるため、丁寧に患者の愁訴を聴取し背景因子を推測することが必要である。今回の結果では、職場の環境について「コンピュータ画面を見ている時間」「冷暖房の環境」「照明環境」についての問診が56%を占めた。環境要因について、岩崎は眼精疲労との関連を以下のように指摘している。①照度と輝度、②グレアと映り込み、③画面のちらつき、④画面の種類、⑤画面・キーボード・書類の存在による頻回な眼球運動、⑥連続作業時間、⑦休憩時間 (休憩方法)、⑧視距離 (視力矯正のあり方) といった項目である。また、VDT作業時には瞬目回数が減少し蒸発亢進型ドライアイが誘発され

ることが推定されている²⁾。同様にコンタクトレンズ装用でも涙液油層の異常をきっかけに、蒸発亢進型ドライアイに転機することが考えられており、特に低温・低湿度ではより著明に涙液異常やドライアイ症状が悪化することが知られている。従ってVDT作業に長時間従事するオフィスでは、コンピュータや冷暖房などの作業環境について問診し作業環境を調整することが大切である。一方、「仕事へのプレッシャー」や「人間関係」の問診項目は10%にも満たなかった。先にも述べたように、眼精疲労の発症や経過には心理・社会的要因が関連している。就職、転職、昇進、リストラ、人間関係などストレスへの対処が不十分な場合には、不安・抑うつ・緊張・いらいら感といった情緒不安定な状態に陥りやすく、「眼の疲れ」という身体症状が生じ、その症状は容易に悪化する可能性がある。従って、良好な医師-患者関係を築きながら心身医学的なアプローチを行うことも必要であろう。

眼精疲労の患者に対して主として問診する項目で、個人の状況についての問診では、「眼鏡（CL）装用して近業を行うか」「眼鏡（CL）はいつ変更したか」の項目が75%を占めた。一般に、遠用の眼鏡（CL）を装用して近見作業を行うと過剰な調節力を要する。また、近視を過矯正した場合も人工的な遠視となること、あるいは遠視の低矯正では残余遠視のため調節性眼精疲労に陥りやすい。したがって、個人のライフスタイルに合わせた適切な眼鏡（CL）処方を行わなければならない。頭部打撲やむち打ち症の既往の有無について問診すると回答した眼科医は11%であった。交通事故による頭部打撲やむち打ち損傷後は、様々な全身症状や眼症状を訴えることがあるため既往の有無を確認しなければならない。交通外傷後の眼精疲労についてはあとに詳細を述べる。

④ 眼精疲労の患者に対して主として行う検査

眼精疲労の患者に対して主として行う検査のうち、視力検査では「通常装用している眼鏡（CL）での遠見・近見視力」を選択した眼科医が76%を占めた。遠視の低矯正では残余遠視のために、近視の過矯正では人工的な遠視となり、調節性眼精疲労を生じる。遠見用の眼鏡（CL）装用下で

の近見作業も必要以上の調節系への負担が強いられることから調節性眼精疲労を生じる。したがって、眼鏡（CL）の過矯正や低矯正はないか、眼鏡（CL）の不適切な使用はないか確認することが大切である。

今回の結果では、近見視力検査を行っていない眼科医を5%に認めた。中高年だけでなく、比較的若い年代であってもVDT作業に従事する患者では近見視力検査を行いたいものである。遠視による調節性眼精疲労は青年期あるいは成人の軽度遠視例によくみられ、それまでは十分にあった調節力で遠視を打ち消していたものが、老化により調節努力が大きくなり眼精疲労を発症することがある。また、こういった症例で長時間のVDT作業が強いられると眼精疲労が顕著になりやすい。したがって遠見・近見完全矯正視力検査や使用している眼鏡のチェック・赤緑テストを行わなければならない。

一般に、眼精疲労と診断された患者では調節近点の延長や調節力の減少、調節時間の遅れなどの調節異常が認められる。今回の結果では調節検査は「遠見完全矯正下での調節近点測定」「近点計による調節力測定」が48%を占めた。これは、石原式近点距離計が調節力を求めるのに有用で外来でも簡便に行うことができるからと考えられた。一方、「無回答」は37%で、眼精疲労が疑われても調節検査までは施行されていない現状が推察された。眼精疲労患者に共通してみられる唯一の機能的変化が調節機能であるといわれている¹⁾ことから、眼精疲労が疑われる症例では調節機能検査を行い異常所見の検出に努めたい。今回、「アコモドポリレコーダーによる調節測定」が7%、「赤外線オプトメーターによる調節測定」は殆ど選択されなかった。これらの機器は特殊で専門性が高く大病院などでしか検査できないため、医院・診療所にお勤めの眼科医からの返答が多かった今回のアンケートでは選択が少なくなったと考えられる。赤外線オプトメーターは調節障害を臨床的に捕らえる方法として優れていることが数多く報告されている。我々も、頭頸部外傷症候群では赤外線オプトメーターによる調節パターンを調節痙攣型、調節麻痺型、正常型に分類して治療法を選

択することを提唱した³⁾。実際、交通外傷後の調節障害では裁判や保険が絡む症例が多く、こういった機器により診断や経過を評価してもらうために大学病院を紹介するといったコメントも頂いた。

眼位・輻輳検査では「遮閉検査」を含む回答を67%に認めた。斜位では眼位を正位に持ち込もうとするため内斜位では開散を、外斜位では輻輳を余分に強いられるために眼精疲労を生じやすい。カバー・アンカバートテストは外来診療で簡便に行うことができ、多くの医師が眼位異常の検出に使用していることが分かった。

涙液検査では、シルマー検査やブレイクアップ時間測定、生体染色検査を多くの医師が行っているという結果を得た。先にも述べたように、オフィスワーカーを対象としたドライアイの大規模疫学調査で、ドライアイ、特に蒸発亢進型ドライアイが多く存在することが注目されている。眼精疲労の原因の1つにドライアイがあることを念頭に置き、涙液の質的あるいは量的異常の検出に努めなければならない。

その他の検査では、「眼圧検査・細隙灯顕微鏡検査」が約90%であった。眼精疲労の診断には器質的疾患の除外が必要であることは言うまでもない。

⑤ 眼精疲労の患者に対して主として行う治療
眼精疲労の患者に対して主として行う治療では、VDT 作業には「コンピュータ作業用のめがね処方」が40%、老視初期の眼精疲労には「近見用めがね処方」あるいは「低矯正のめがね処方」、遠近両用めがね処方が74%と近用眼鏡を処方して対処する眼科医が多かった。しかし、もともと裸眼視力がよく「自分は目の異常はない」と思っている軽度遠視の患者や、軽度の近視があり近用眼鏡を必要とする時期になっても近方が良く見えることから「自分は老視が遅い、他人よりも若い」と錯覚している患者、自身の老化を否定したい患者では、近用眼鏡を装用しただけで苦慮することがある。軽度の遠視では、遠見・近見ともに視力良好であっても眼精疲労の原因となるため、少なくとも近業時には眼鏡を装用することを本人のプライドを傷つけないように根気よく説明しなければならない。

「B₁₂ あるいは人工涙液の点眼」を含む回答はVDT 作業・老視初期患者ともに約50%を占めた。涙液検査でドライアイと診断できた例には人工涙液の点眼は有効と思われるが、B₁₂ 点眼は異論の多いところである。B₁₂ 点眼について数多くの意見が寄せられたので、その一部を紹介する。「診断名がつけられないまま、とりあえずビタミン剤を処方する。患者には申し訳なく思う」「すっきり改善する例が少ないと感じながらB₁₂ 点眼を処方する」「できるだけ眼精疲労の原因をつきとめて対処するようにしているが、患者側から見ればB₁₂ 点眼は非常に有用なようである。患者の希望でB₁₂ 点眼を処方することが殆どである」「ドライアイや調節障害のため人工涙液や眼鏡処方するが、患者は納得せず疲れ眼の目薬に依存するケースが多い」「B₁₂ の薬理作用はよく理解できないが、あのピンク色の薬物が効果的なのではないか」といった意見など様々であった。心の動きは眼精疲労の大きなファクターとなる。患者の話を上手に聞き、プラセボ効果などを期待してB₁₂ 点眼を処方することも治療の1つとなりえるのかも知れない。

⑥ 眼精疲労という病名をつけた原因

眼精疲労という病名をつけた原因としては、「コンピュータ (VDT) 作業」を含む回答が45%と最も多かった。次いで「ドライアイ」や「不適切な眼鏡 (CL)」を含む回答も35%を占めたことから、コンピュータ (VDT) 作業だけでなく、それによって生じるドライアイや不適切な眼鏡 (CL) 装用が眼精疲労を悪化させていることが推察された。年齢層では老視初期の30~49歳が39%、次いで40~59歳が多くみられた。これは、もともと基礎に遠視があり加齢によって遠視が顕在化して眼精疲労を生じさせたのではないかと考えられる。また、20~30歳代の比較的若い年代でも眼精疲労と診断されることがあり、VDT 作業に従事する人は年齢に関わらず眼精疲労を発症し得ると考えられた。

2. 屈折矯正手術、老視について

① 屈折矯正手術と眼精疲労

屈折矯正手術後に眼精疲労を訴えた症例は経験がない故に「なし」と回答した医師が多いよう

ある。我々は過去に、6D以内の近視矯正手術を行った6例において手術前後での調節の変化を検討し、術後3ヶ月では調節反応は正常範囲内にあるが遠点と調節安静位の関係が安定していない例が複数あることを報告した³⁾。このように屈折矯正手術後の調節に及ぼす影響について調節の各種パラメータを用いて検討した報告は多くないが、この調節安静位の変化が術後の眼精疲労を誘発する可能性がある。

実際の臨床では、屈折矯正手術を受ける患者は仕事や趣味などで1.0以上の視力を希望し、いずれ老視になることをよく説明を受けて手術を受けるため、満足度は比較的高く、術後近見視力が問題となることは少ない。しかし、長年近視であった患者が過矯正のために遠視になったケースでは、調節力が残っている年齢であっても眼精疲労を訴える。手術では過矯正を避けるのは当然のこと、ライフスタイルに合わせた近用眼鏡の処方や、場合によっては再手術も必要となる。今後、屈折矯正手術の件数が増えるにしたがい、眼精疲労など術後の視力障害を訴える患者を診る機会も多くなることが予想される。患者が老視年齢に至ったときの対応を含めて、その対処方法を知っておかなければならない。

② 老視年齢の患者に対する眼精疲労対策

老視年齢者の患者に屈折矯正手術をすすめるかどうかの設問には97%の回答者が「なし」と答えた。老視に対する手術療法は有用だと思ふかの設問にも「わからない」51%、「いいえ」46%となり、老視に対する手術療法には否定的な回答者が大半であった。中等度以上の近視患者でも年をとれば老視となり、遠見だけでなく近見眼鏡も必要となる。大胆に考えれば、2つの眼鏡を持ち歩くよりは屈折矯正手術を行い、近用眼鏡のみ使用するのもQOVを改善する1つの方法といえる。中等度以上の近視を有している患者で、手術を強く希望し、かつ白内障により視力が低下する可能性や近見では眼鏡が必要となることをよく説明し、納得が得られた例に対しては、老視年齢であっても屈折矯正手術を行うのも1つの方法である。ただし、このような考えが社会一般に受け入れられているかどうかは疑問である。遠視矯正を含め屈

折矯正手術はまだ日本では歴史が浅く長期的な経過がわかっていないことから、現時点では積極的な手術は受け入れられず、否定的な意見が大半を占めたのであろう。

2重焦点コンタクトレンズは眼精疲労防止に有効かとの設問に、「わからない」50%、「いいえ」30%であった。現在、VDT作業従事者の多くは若年・壮年者である。今後、高齢化社会の進行とVDT作業の浸透によって中高年者がVDTに向かわざるを得なくなることが予想される。ただし、VDT作業時のドライアイは女性とコンタクトレンズ装用がリスクファクターとされているため、2重焦点コンタクトレンズの処方、涙液分泌減少がなく、それまでにコンタクトレンズ装用を行っていた経験者に対して処方するのが安全であると考えられる。

モノビジョンが老視対策に有効かの設問に対しても、「はい」23%とあまり支持されなかった。モノビジョンは単眼視のことで、欧米では老視の治療法の1つとしてコンタクトレンズのモノビジョン法が普及している。特に40歳以上の老視年齢で、美容上眼鏡を装用したくない女性に好まれる傾向がある。ただし、モノビジョン法により両眼視機能が軽度損なわれることが報告されているため³⁾、精密な近業や両眼視を必要とするかどうかをよく問診し慎重に適応を決定しなければならない。

3. 交通外傷（いわゆるむち打ち症を含む）について

交通外傷後の眼症状を「機能的な障害である」と回答者の46%が答えたのに対し、「わからない（経験がない）」という回答を37%から得た。交通外傷後に全身症状とともに眼症状が出現することは過去に多くの報告が見られ、頭頸部外傷症候群と呼ばれている。眼の訴えでは霧視や眼痛など眼精疲労だけでなく視力低下を主訴とする例も多い。その訴えは強く執拗で、詐病との鑑別や訴訟問題が絡むために敬遠されがちである。交通外傷後の眼症状への診断書はどのようにするかの設問にも、「調節力低下があれば書く」が64%にみられたが、「書かない」が20%あり、頭頸部外傷症候群への対応に苦慮した経験を持つ回答者も多いのではなかろうか。詐盲との鑑別をどのように行

うかの設問には、「行動と視力の解離をみる」が62%、「立体視検査など他の検査との整合性を見る」「パターン視覚誘発電位検査を行う」が46%であり、他覚所見が得にくい頭頸部外傷症候群の診断の難しさが伺われた。どのような検査を行うかの設問には、矯正視力、近見視力、調節検査、視野検査などが約80%を占めた。頭頸部外傷症候群では、可能であれば赤外線オプトメーターで調節機能を他覚的に評価し重症度の判定や経過観察に用いることが望ましい。

どのような治療を行っているかについての設問には、「ATP（アデノシン3リン酸）剤内服」「トロピカミド点眼」を41%に認めた。調節過緊張に対しては、トロピカミド点眼や低濃度シクロペントレートが自覚症状・他覚所見の改善に有効であることが報告されている^{3,4)}。また、調節麻痺型には、ビタミン剤やATP、血管拡張剤の投与が有効と報告されている。治療の基本は、薬物療法に頼りすぎず患者の訴えに耳を傾け症状を把握するとともに、患者との信頼関係を築くことと考えられる。

頭頸部外傷症候群に関するコメントも様々であった。その一部を紹介すると、「交通外傷後の視力障害の診断は裁判や保険が絡む症例が多く、被害者の場合は安易に診断しないようにしている」「診断書の作成は後でトラブルになることがあるので、大学病院で多くの症例を経験している先生に相談するか紹介している」「損害保険会社の係員が交通外傷後の眼症状に関して不勉強できちんとした対応ができず困る」など診断書に関するコメントのほかに、「交通外傷後の眼症状は単に被害者意識によるものではなく本当に起こる」「器質的障害がない場合、詐盲と扱わずに外傷を発端とした機能的視力障害・心因性視力障害と捉えるべき」「大抵は整形外科等で消炎剤や筋弛緩剤などの処方されており、その影響も否定できない」「交通外傷後に不定愁訴を訴える患者で低髄圧症候群と診断され、ブラッドパッチで軽快した症例を経験した」などであった。

4. 小児のテレビゲームとVDT作業について

① 小児に及ぼすVDT作業の影響について
小児がテレビゲーム画面や携帯電話画面を長時

間見ることに對してどのように考えるかの設問には、「近視化を助長するので控えるよう指導」が65%であった。VDT作業やテレビゲームなどの近見作業により近視化が生ずるか否かについての報告は数多くある。我々が報告したVDT作業が屈折度と裸眼視力へ及ぼす影響についてのプロスペクティブな検討では、長期間の連続した近見作業により屈折度が近方へ移動することが判明した³⁾。これは正常時には遠方調節と近方調節のバランスが調節安静位で上手くつりあっているのに対し、視覚疲労時には副交感神経系が優位になり調整安静位のバランスが崩れて近方へシフトする。この状態が慢性化すると、近方へシフトした調節安静位で再度遠方調節と近方調節のバランスがとれ、近点・遠点ともに近方化して安定するためと我々は考えている。また、最近では3Dゲームが登場し人気を集めているが、立体映像視後の視機能の変化を評価した報告によると、4時間の立体映像視後は有意に屈折系が近視化し、調節系は調節反応量の低下、瞳孔は縮瞳して視覚に影響が出ることが示され、またこれらの変化は30分後には回復していたことから可逆的であることが指摘された。

光過敏性てんかんという言葉を知っているかについての設問には、84%の回答者が「はい」と回答した。子供の人気番組のテレビ放映中に強烈な光の点滅で全百数十人の子供がけいれんや意識障害を誘発されたことは記憶に新しいところである。このように映像社会が小児にもたらす弊害が警告される一方で、視覚情報処理機構においては、テレビゲームの訓練によりその能力が飛躍的に向上することが報告されている。Greenらは、アクション型ビデオゲームを毎週数回、少なくとも6ヶ月にわたって行った若者は、ゲームをやらない者よりも、複雑な視覚環境を監視する能力が高くなり、また1度により多くの対象物を追跡することができ、ビデオゲームが視覚技能を向上させようと報告した。テレビゲームなどの映像が小児の視覚へ及ぼす影響については、今後さらなる検討が必要である。

② VDT作業の指針

厚生労働省のVDT作業の指針を知っているか

の問いに対して、「いいえ」と答えた回答者は56%であった。厚生労働省は平成14年4月5日に「新VDT作業における労働衛生管理のためのガイドライン」を発表した。ここでVDTの一連作業は1時間以内とし、10～15分程度の休憩をとるよう推奨している。また、今後眼精疲労の患者は増加すると思うかの問いに対し、「はい」の回答者が89%を占めた。IT化が急速に普及するに伴ってVDT作業が眼精疲労や健康障害を引き起こすことが社会問題として注目される現在、われわれ眼科医もその発症メカニズムや対策にもっと関心を払わなければいけない。

おわりに

IT眼症と環境因子研究班は、2001年に立ち上げ本年度で最終年を迎えた。本研究で判明した事実を基に第一線で診療している眼科医に情報をフィードバックし、眼精疲労で通院している患者の治療

の一環として役立てていただければ幸いである。稿を終えるにあたり、今回のアンケート調査にご協力をいただきました日本眼科医会会員の先生方に、深謝申し上げます。

本研究は、日本眼科医会の「IT眼症と環境因子研究班」の研究助成金により行われた。

【参考文献】

- 1) 鈴木昭弘：主訴からする眼精疲労の診断．眼科MOOK, No.23, 眼精疲労：1-9, 金原出版, 1985.
- 2) Tsubota K: Tear dynamics and dry eye. Prog Retin Eye Res 17: 565-596, 1998.
- 3) 木下 茂：第98回日本眼科学会総会 宿題報告IV 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.
- 4) 中村芳子, 木下 茂：むち打ち損傷と調節障害. 1047-1052, 1992.
- 5) 不二門 尚：視覚情報処理機構からみた眼精疲労. あたらしい眼科 14: 1295-1299, 1997.

IT 眼症とユビキタス情報社会

板 東 武 彦

(新潟大学大学院医歯学総合研究科統合生理学分野)

1. 背 景

1-1 OA 機器の使用に伴う VDT 症候群

1970年代から映像機器が広く普及すると共に、種々の健康被害が報告された(図1)。最初はテレビジョン視聴やコンピュータゲームに伴う近視などが問題となった。その後、OA機器の普及、コンピュータネットワークの広がり为背景として、眼精疲労や筋・骨格系の障害などのいわゆるVDT症候群が問題となった^{1)~6)}。例えば1998年の労働省の実態調査によると疲労を感じたVDT作業者は80%にのぼった。このような状況を踏まえて、日本眼科医会はすでに、1980年代にVDT研究会を組織し、約10年にわたる調査研究を行い、VDT検診等の対策の実現を導いた。VDT症候群については、1985年に労働基準局長通達としてガイドラインが制定されていたが、これらの状態を背景として、2002年4月に改訂された⁷⁾。これらのガイドラインは産業医を通じて、

実施に移されており、状態はかなり改善されてきたとはいうものの、経済的な問題もあり、完全な解決には至っていない。このため未だに、種々の健康被害に苦しむ人々は絶えず、また個人差が大きいこともあり、今後の対策は重要な課題として残っている。

1-2 いわゆる「ポケモン」事件

その後、1990年代にいたり、テレビ放映に伴う光感受性発作(Photosensitive Epilepsy, PSE)の集団発生事件が起こった(図2)。PSEそのものは、例えば木漏れ日が風にそよんだり、カーテンが揺れたりするような自然の状態でも起こる発作であるが、テレビの走査線の繰り返し周波数が運悪く、発作を誘発しやすい帯域にあった。1993年にイギリスでカップ麺のテレビCMにより3人に発作が起こり、直ちに検討に入ったイギリスのITC(Independent Television Commission, 独立テレビジョン機構)⁸⁾が、翌1994年にイギリス Ashton大学のHardingらとともにガイドラ

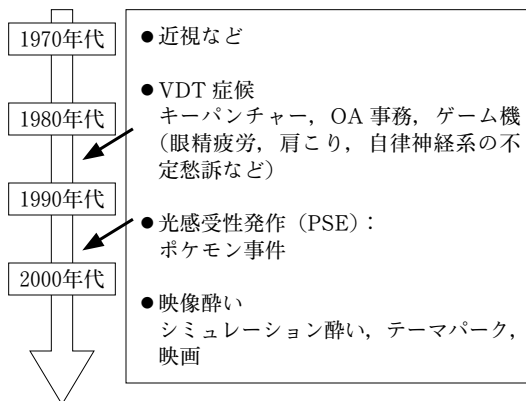


図1 映像・視覚機器の生体影響の歴史

近視、VDT症候群、PSE、映像酔いなどが問題になった年代の概略を示す。

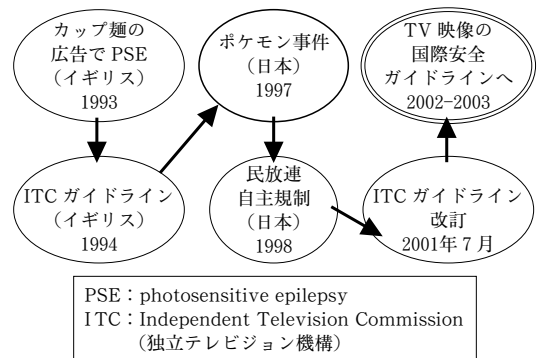


図2 PSEに関する年代別整理

イギリスにおける発生事件と ITC ガイドラインの制定・改訂、日本でのポケモン事件との関係を年代的に示す。

インを制定した。ちなみに、ITC はイギリスの民間テレビ放送を監督する第3者機関であり、民放の許認可権を持っている。1997年には日本でテレビアニメ番組の放映により、いわゆるポケモン事件が発生し、700人近い人が病院を受診した⁹⁾。このときの視聴者の数は1,000万人といわれるので、単純計算では素因を持つ人のすべてに発作を誘発したことになる。但し、問題は、この事件の被害者の多くは、このテレビ放送を見るまでは、PSEの発作を起こしたことがなかった点にある。おそらく、このような機会に遭遇しなければ、一生、PSEの発作は起こさなかった人々が少なくなかったであろう。この事件を契機として、放送番組とくにアニメ放送についてはITCガイドラインに準拠した形で、民放連の自主規制が行われ、現在まで続いている。また、ヨーロッパを中心として、ITCガイドラインに準拠して規制を行う可能性のある国は多いといわれている。ガイドラインの完成度も高いので、PSEに関しては、すでにデファクトスタンダードの地位にあるともいえる。ITCガイドラインが何らかの意味での正式の国際標準になる可能性が高い。1994年に制定されたITCガイドラインは、さらに2001年の改訂で数値化され、コンピュータ処理

が可能となった。これに基づき、自動評価装置が開発された(図3)¹⁰⁾。この装置では、判定ソフトウェアが基幹であるが、赤の広範囲の反復、空間パターン、フラッシュ点滅、画面の激しい切替、長時間の危険な画面の連続などを判定し、リアルタイムで結果を表示する。フレーム毎に結果が3段階表示されるので、どこを、どういう意味で直せば良いかが視覚化された。この装置で日本で昨年、テレビ放映された番組の一部を早稲田大学の鶴飼が調べたところ、民放連の自主規制の効果が認められたが、放送局間でかなりの差があった(映像デジタルコンテンツ評価システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書)¹¹⁾。放送局の努力は続いているが、今後の課題も残っているといえる。

2002年からITU(国際電気通信連合)でPSEに関する国際的規制について議論が進められている(映像評価委員会, WP6Q)が、アニメ産業は日本の重要な産業の1つであるため、日本としても健康の安全を守ると共に、規制が不条理なものとならないように科学的に根拠のある主張を行う必要がある。たとえば、ITCの空間パターン規制には「障子の棧」のような日本特有の文化背景のある景色が抵触する可能性がある。ITCの空

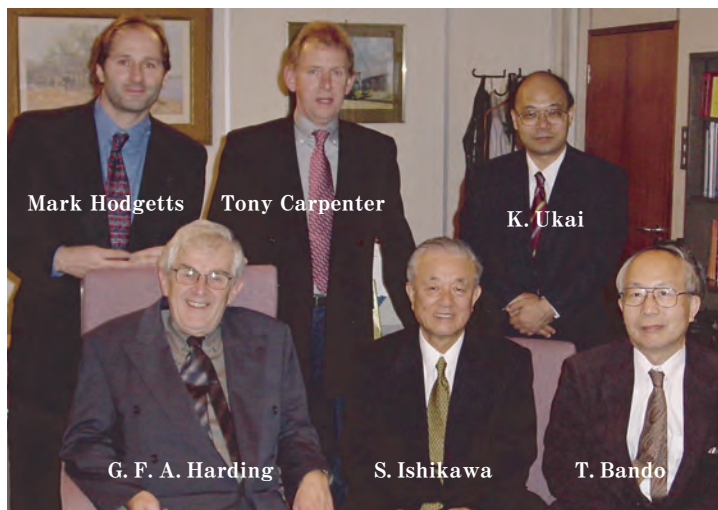


図3 Prof. G. F. A. Harding と CRS, Aston 大学, 2001

フィージビリティ研究の一環としてイギリスを訪問したときの Ashton 大学での Harding 教授, CRS 社員 (Tony Carpenter, Mark Hodgetts) および日本側メンバー。Harding 教授と Carpenter 氏はこの後、2003年に幕張で行ったシンポジウムの際に来日している。

間パターン規制が細かすぎることは、イギリスの一部の専門家も指摘するところ（Harding, 私信）であり、まだ議論が定まっていないため、日本としても適切なガイドライン制定を要求してゆくべきであろう。

2. 情報社会への環境変化

一方、情報技術や映像技術の発展に伴い、社会環境が大きく変化してきた。これまでも大規模テーマパークや映画などで刺激の強いエンターテインメントが行われてきたが、大型高精細度映像装置の普及、コンピュータの高容量・高速化、ソフトウェア技術の進展、情報ネットワークの普及に伴い身近な家庭などにおいても、刺激性の強い娯楽が可能となった。このような環境の変化により、わざわざテーマパークなどに出向かなくても、種々の映像が楽しめる利点が生まれたが、同時に、心構えなしに、あるいは好まないのに刺激性の強い映像に遭遇してしまう危険性も孕んでいる。このような刺激の強い映像は、3D機器等の使用により、さらに臨場感を増した状態で提供されることも可能である。このこと自体はプラスの側面が強いが、健康被害を起こさない対策を事前に用意することが不可欠である。

これまでのVDT症候群などは職場でのOA機器やゲーム機の不適切な長時間使用などによって起こるという意味では、限定された環境でのみ生じていた。しかし、近年、情報端末の小型化、携帯電話の情報端末化などにより、小型精細画面を注視する機会も増加した。むしろ、このような使用はこれまでとは比較にならないほど広く、日常生活に馴染んだものとなりつつあるといえる。これらの環境の変化に対応してシミュレーション酔い、映像酔いといわれてきた健康障害も特殊なものではなくなり、その対策も緊急のものとなった。例えば2003年7月に、松江市の中学校で1年生全員約300人を体育館に集め、大型スクリーンによる国際理解のための授業（アメリカ中学校の授業風景を紹介）を行ったが、用いたビデオ映像の手ふれがひどく、36人が吐き気などを訴え、松江赤十字病院で治療したことは読売新聞など全国紙で報道された。この場合は、健康被害の程度が

軽かったが、大型スクリーンを用いて、暗い中で授業をする機会は今後も増加するであろうし、特に情報ネットワークを介する場合には映像の物理的状态とともに、コンテンツ内容も問題となろう。

このような背景のもとに日本眼科医会の「IT眼症と環境因子」研究会が3年前に発足したのであるが、それと並行して政府のe-Japan重点計画が2001年に発足した。なお、政府の高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT戦略本部）のe-Japan重点計画2003（平成15年8月）¹¹⁾では、先導的取り組みによるIT利活用の促進の中で、「コンテンツの生体への影響に関する調査・研究」（経済産業省、総務省）の必要性に触れ、「2003年度中に、映像コンテンツが生体に対して与える影響について、物理的・医学的な基礎調査および研究を行い、その調査研究結果を公表することになった（Ⅱ.先導的取り組みによるIT利活用の促進, 5.知, (2)具体的な施策, ②コンテンツ産業の国際競争力強化, c)コンテンツ流通に関する研究開発, i)コンテンツの生体への影響に関する調査・研究）（図4）。2003年度には、経済産業省ならびに総務省はこの計画を踏まえ、基準認証研究開発事業「映像の生体安全性評価法の標準化」および「ネットワーク・ヒューマン・インターフェースの総合的な研究開発（映像が生体に与える悪影響を防止する技術）」の公募を行い、各々のプロジェクト研究を発足させ、現在、進行中である。

3. 情報社会での健康安全を守る取組み

すでに、情報社会での健康安全を守るための先導的研究は幾つか行われてきている。われわれは「立体視映像を含み、映像にかかわる健康安全を守るプロジェクト」を組織し、ポケモン事件の前年、1996年にすでに経済産業省、機械システム振興協会の支援の下に、自転車振興会等の資金援助により、眼精疲労・映像酔いなどの健康被害を評価する方法を確立し、危険度判定システムの基礎を築くこと、国際的ガイドラインの制定に日本が中心的な寄与をなすこと、などを通じて映像にかかわる健康安全を守りながら、情報産業の健康的な発展を図ることを目的としたプロジェクト研究

e-Japan 重点計画—2003
— 目 次 —

はじめに

I 基本的な方針

1. IT 革命の意義
2. 目指すべき高度情報通信ネットワーク社会の姿
3. 基本方針

----- 中 略 -----

II 先導的取り組みによる IT 利活用の促進

1. 医療
 - (1) 現状と課題

----- 中 略 -----

5. 知

- (1) 現状と課題
- (2) 具体的な施策
 - ① IT を活用した遠隔教育の推進
 - ② コンテンツ産業の国際競争力強化
 - ③ 日本文化の情報発信
- (3) 評価の具体的な考え方

----- 中 略 -----

III 重点政策 5 分野

IV 横断的な課題

重点計画の詳細

- ② コンテンツ産業の国際競争力強化
- ア) コンテンツ制作力の強化
 - イ) デジタルコンテンツの流通環境の整備
 - a) 著作権契約に関する制度的枠組みの整理
 - b) 著作権権利処理の円滑化
 - c) コンテンツ流通に関する研究開発
- i) コンテンツの生体への影響に関する調査・研究
(経済産業省, 総務省)
2003 年度中に、映像コンテンツが生体に対して与える影響について、物理的・医学的な基礎調査および研究を行い、その調査研究結果を公表する。
- ii) ブロードバンド・コンテンツ流通技術の開発・実証 (総務省)
- iii) デジタルコンテンツの複製防止技術等の確立のための環境整備 (経済産業省)

図 4 e-Japan 重点計画 2003 の抜粋と関連部分の詳細
詳しくは官邸の HP 参照

を進めてきた（主査：斎田真也，産業技術総合研究所¹²⁾。この研究会の特徴は国公立大学，研究所および企業が密接な連携を保ちながら調査・研究を行う体制を確立したこと，分野横断型に医学，工学，心理学など広い領域の専門家を結集したことにある（図 5）。すでに 3 次元映像に関するガイドライン試案（1998 年），映像安全に関するデータベース（「安全映像デジタルコンテンツ作成支援」データベース，2001 年¹³⁾）を発表し，研究に必要な機器開発などを行っている。「安全映像デジタルコンテンツ作成支援」データベースは，映像をその要素別，生体影響別に分類すると共に，関連する研究成果を収録し，使いやすいように階層構造を取り入れた。便宜上，映像の生体影響を 4 つ（光感受性発作，映像酔い，眼精疲労，その他の自律神経系の異常），映像要素を 8 つの要因（動き，回転，拡大縮小，フラッシュ，画面切替，色，空間パターンおよび絵の変形）に分類した。このうち，フラッシュや画面の切替，赤い色，空間パターンなどは ITC ガイドラインでも

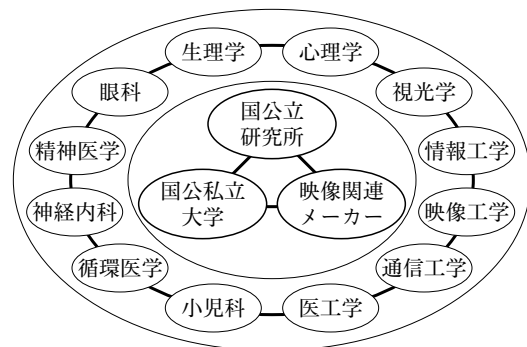


図 5 映像に関する健康安全を守るプロジェクトの概念構成図

重要視された要素であり，その他の要素は癲癇発作のみでなく，眼精疲労や映像酔いを考える場合に重要な要素である。ITC ガイドラインとの立場の相違は，PSE よりはむしろ，VDT 症候群（眼精疲労など）や映像酔いに重点を置いていることにある。PSE の場合には癲癇発作を脳波を手がかりとして評価するという限定された方法論

を用いることができるが、眼精疲労や映像酔いについては、より広い多様な症状に対して、複数の評価方法を開発することが必要になり、困難さは飛躍的なものとなろう。しかし、情報社会の健康安全を守るためには、この問題についての調査・研究と対策の策定は避けて通ることはできない。

3-1 研究の戦略

映像が視聴者の健康に影響を与えるかどうかを調べる一番直接的な方法は、多くの被験者に映像をいちいち見て貰い、安全性を確かめることである。しかし、このような方法は、時間もコストもかかり、実際的とはいえない。このため、実際にはこの道のプロが映像を見て判断したり、少数の被験者の反応を一般化して判断することが行われてきた。この方法は現実的であり、また効果も大きい。しかし、その根拠が長年の経験と勘に頼るため、後継者の養成に不安があり、また社会的な説明責任を要求される現代の風潮に必ずしも対応できない。これらを考慮すると、客観的な判断基準に基づく健康被害の評価方法を確立することが大切であろう。そのためには、被験者に映像を提示しなくとも、映像そのものから健康安全に対する危険度を評価できる装置を開発する必要がある。このため、当然、多数の被験者実験に基づくデータベース、危険度判定基準（評価関数）等が必要であるが、収集するデータ自体が科学的解析に耐えるものでなければならない。これらを考慮すると、多種類の映像を視聴者に見せた実験結果を集積するのみでなく、客観的・定量的な標準テスト映像を用い、系統的にデータを収集することが必要となろう。このようなテスト映像群を作成する重要な基礎は映像を基本的な要素に分け、その要素の生体影響を調べることであり。

系統的に集積された被験者実験結果を分析し、再統合することによって、映像から直接に生体影響を予測するシステムを開発できる可能性は高い。もちろん、要素間の相互干渉が起こるので、要素ごとの生体影響から、映像作品全体としての健康安全を推定することは容易ではない。単に要素の線形結合では目的を果たすことができないので、多くの実験的結果から発見的に（あるいはデータマイニング等の数学的手法を用いて）、有効な評

価関数を求めることが必要であろう。

被験者実験の面からは、身体パラメータの定量的測定、定量化された映像要素との間の相関の計算方法の確立などが必要である。単に身体パラメータの値を測ることで個人差の影響も大きく、感度も低いので、複合的な評価指標が必要であろう。これまで自律神経機能測定には心拍数の揺らぎのスペクトル解析^{14), 15)}等が用いられてきた。これは感度は高いが、身体が動くと大きく変化するという弱点がある。映像視聴が引き起こす生体影響を測定するには、ある程度の身体の動きを許容し、安楽な姿勢をとることが重要である。われわれは、多少の身体の動きがあっても安定に測定するため、1つのパラメータの測定に頼ることなく、相互に機能上の関連がある複数のパラメータを測定し、反射の入出力関係の変化という形で評価する方法を用いた（図6）。

自律神経パラメータとして、瞳孔反射系および循環反射系のパラメータを選択した。瞳孔対光反射は主として中脳の動眼神経副交感核の支配を受ける¹⁶⁾。但し厳密には、瞳孔反射特性は瞳孔径の影響を受け、瞳孔径は交感神経系（頸髄・上部胸髄を經由）と副交感神経系（中脳）の拮抗的支配

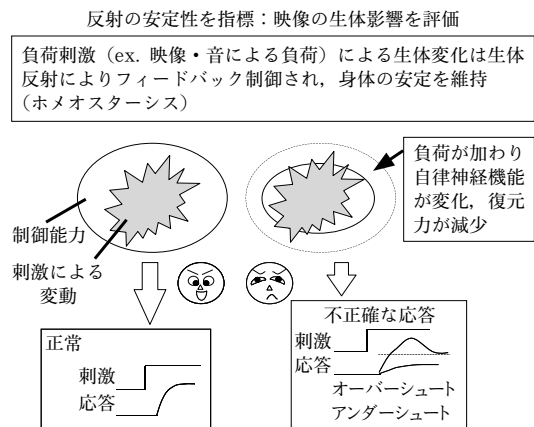


図6 生体反射系を用いた生理評価指標

生体は負荷刺激が加わると生体反射系を介したフィードバック制御により、元の状態に復帰する。疾患や体調不良などで、基礎的な復元能力が減少した状態では、ストレスに対する生体応答が小さかったり遅かったりすると考えられる。生体反射のパラメータを測定することにより、微小な変化を比較的に高い精度で検出できることが期待される。

を受けするため、交感神経系の影響も受ける^{16), 18)}。なお、安静時瞳孔径や年齢による影響を少なくするため、個々の被験者の対光反射振幅を安静時瞳孔径で除した縮瞳率 (CR)^{17), 18)}を用いた。ちなみに、 $CR = (D1 - D2) / D1$ 、但し、D1 は光刺激前の瞳孔径、D2 は対光反射振幅が最大の時の瞳孔径 ($[D1 - D2]$ が対光反射振幅)。瞳孔計は主として浜松ホトニクス社のイリスコーダを用いた。一部の実験では、早稲田大学の鶴飼らが開発した瞳孔計 (インテリジェント瞳孔計、ニューオプト社)¹⁹⁾を用いた。この装置では、映像を視聴しながら瞳孔、眼球運動の連続測定ができる。

循環系では血圧反射の安定性を東北大学の吉沢誠、田中明らが開発した $\rho \max$ を指標として評価した (0.1 Hz 帯域での血圧・心拍数の相互相関係数の最大値)^{20), 21)}。なお、心拍数の揺らぎのスペクトル解析では、0.1 Hz 帯域は交感神経・副交感神経両方の緊張を反映し、0.3~0.5 Hz の高周波領域は副交感神経の緊張程度を示す^{14), 15), 18)}。ちなみに、循環中枢は延髄であるが、血管系は主として脊髄を介する交感神経支配を受け、心臓は交感神経および副交感神経 (延髄迷走神経) により拮抗支配される¹⁸⁾。圧反射では、血圧が低下すると、種々の径路を通じて血圧が上昇するが、その1つとして心拍数が増加する。一方、心拍数は圧反射のみでなく、情動など他の要因によっても変化する。つまり、血圧・心拍数間の関係は、自律神経の緊張状態によっても、情動の程度によっても変化し、これを反映して、血圧・心拍数間の相互相関係数の最大値が変化する。これらの研究手法は機械システム振興協会の支援によるフィージビリティスタディの一連の報告書に詳しく述べられている¹²⁾。

3-2 方 法

実験1では、生活習慣病患者群 (6人, 62±8歳) と健康対照群 (6人, 60±8歳) との比較を行った。実験2では、若年の男性・女性を被験者 (医学部学生, 男12人, 女4人, 年齢 (23.1±0.9) 歳) として4種類の立体視映像視聴の応答を比較した。いずれの実験でも、映像刺激前、刺激中、刺激後に被験者の血圧、心拍数、瞳孔、発汗などの生理指標を測定した。映像視聴前・後での変化

を比較することにより、映像刺激による生体応答の分析を行った。個々の応答では、被験者の個人差が大きいため、幾つかの応答を組み合わせた生理指標を用いる等の工夫を行った (図7)。

映像視聴前後で主観的体調について自記式のアンケート調査を行った。アンケートは鶴飼らが50数項目のアンケート調査結果を主成分分析し、互いに独立なものを選択した10項目に、3項目を加えたものである。眼科的变化と全身的变化の双方からなる。被験者は13項目の各々について7段階の自己評価をおこなった。通常は、視聴前の状態を4として相対評価を行った²¹⁾。生理パラメータの測定装置は次の通りである。瞳孔は電子瞳孔計 (浜松ホトニクス, イリスコーダ C7364) で映像刺激呈示の前・後で測定した。CCDカメラ (有効径, 30 mm×22.5 mm) を使用し、照明として可視範囲外 (890 nm) の赤外線。光刺激として、可視範囲 (660 nm) の弱い (10 μW) 赤外光を用いた装置である。瞳孔測定以外の測定は連続的に行った。すなわち、心電図 (増幅器、

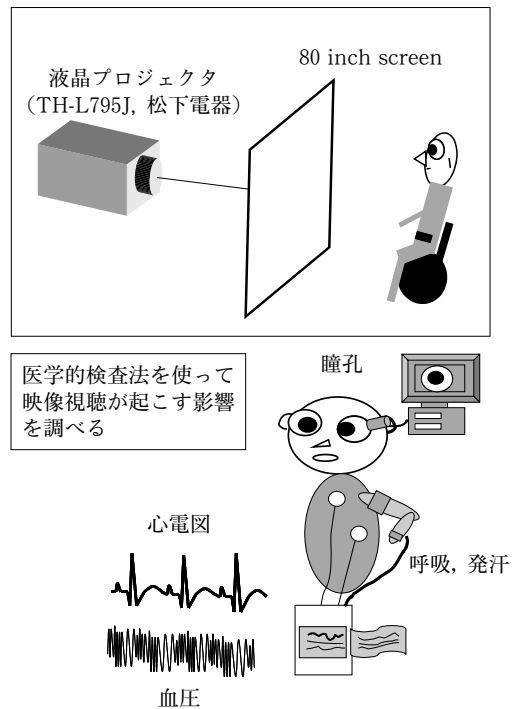


図7 実験系の模式図

説明は本文参照

日本光電, AB-610J), 血圧 (日本コーリン, JENTOW770, トノメトリ式連続血圧計), 呼吸数 (ピックアップ, 日本光電, TR-762T), 発汗量 (スキノス, SKA2000) である。データはナショナルインスツルメントのインターフェース (PCI-MIO-16XE-10) を介してパソコンに取り込み, データ処理ソフト (LabVIEW, National Instruments および MATLAB, Math Works Inc) で処理した。原データはデータレコーダ (ティアック, RD135T) により保存した。なお, 被験者の状態はビデオカメラ (DCR-TRV-9) により撮影, 保存した。統計処理には SPSS software (release 10.07J, SPSS, Inc.) を用いた。

映像は 2 台の LCD プロジェクタ (TH-L795J, 松下電器, XGA 対応 [1024×768], 700 lm×2, レンズ部が上下に移動できるので, 2 台のプロジェクタの光軸を合わせることが容易) を用いて, 大型スクリーン (80 インチ) にリアプロジェクションした。必要に応じて偏光フィルタを用いて, フィールド順次式に両眼視差を与え, 立体映像を呈示した (信号分配器, 日商エレクトロニクス)。被験者はスクリーンから 2 m の距離で, 暗い室内 (10ルクス) で映像を視聴した。実験 1 では, カーレースやモトクロスのようなスポーツ体験ビデオ (15 分程度) を映像刺激として用いた。実験 2 では, 4 種類の異なるカテゴリーの立体映像 (各 6 分, 2 つは CG 映像, 残りの 2 つは実写映像) をランダムな順序で呈示し (図 9), これらの映像刺激により引き起こされた生理指標の変化を比較した。

3-3 結果と考察

実験 1: 生活習慣病患者群は血圧 140 mmHg 以上 (軽度高血圧), あるいは空腹時血糖値 7 mmol/dl 以上 (糖尿病), あるいはその両者を兼ねた患者で, 通常の日常生活をおくっている者 (外来治療を受けているものを含む), 対照群は患者群と同等の教育を受け, 同じ年齢帯に属するが, 血圧, 空腹時血糖値が上記の値に達しない者を被験者とした²²⁾。いずれの群についても, 実験の概略と安全性を説明し同意を得た (informed consent)。またこれらの研究について新潟大学医学部倫理委員会の許可を受けた。映像視聴前には,

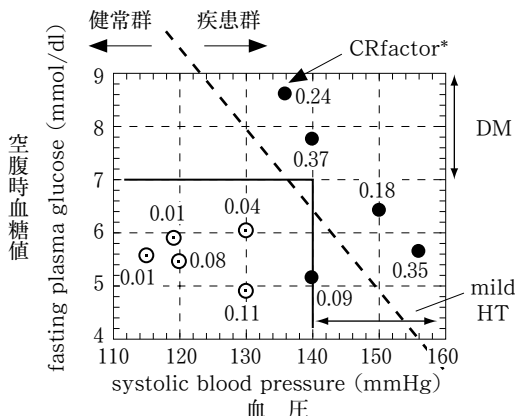
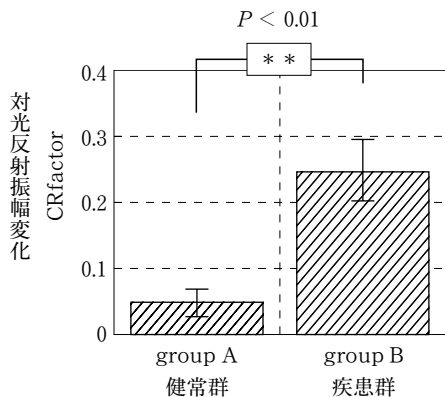
患者群の瞳孔径は対照群よりも大きかった。対光反射の振幅や速度, 加速度には両群の間で有意差はみられなかった。映像視聴前後で, 瞳孔縮瞳率 (対光反射の標準化振幅, CR) を比較すると, 対照群では有意な変化は認められなかった。一方, 患者群では, 映像視聴後に縮瞳率は大きく増加, または減少した。統計的に分析するため, 映像視聴前後での縮瞳率変化の絶対値を 1 から引いた偏差を CRfactor として求めた。すなわち,

$$\text{CRfactor} = \text{abs}\{1 - (\text{CRafter}/\text{CRbefore})\}$$

ここで CRafter は映像視聴後の縮瞳率, CRbefore は映像視聴前の縮瞳率, $\text{abs}\{x\}$ は x の絶対値をあらわす。

患者群と対照群で CRfactor を比較すると, 有意差がみとめられた。すなわち, 患者群で映像視聴後に縮瞳率が大きく変化 (増加あるいは減少) したことが示された。すなわち, 映像刺激のようなストレスが加わった場合に健常対照群では対光反射に大きな変化がみられなかったのに対して, 生活習慣病患者では対光反射振幅のばらつきが大きくなった (図 8)²²⁾。この結果は, これまでの研究報告と一致する。例えば, 鶴飼ら²³⁾によると VDT 症候患者群では VDT 作業から離れて無症状状態になった時でも, 瞳孔振動を測定すると健常群と有意差がみられた。これらの結果は, 基礎的な復元能力が低下している可能性を示唆する。

一方, 循環系の生理指標では, 生活習慣病患者群で対照群と比較して収縮期血圧, 拡張期血圧ともに有意に高く, 心拍数は有意に低かった²²⁾。心拍の揺らぎの周波数解析では %LF と %HF 成分が生活習慣病群で有意に高かった。しかし, LF/HF には有意差がみとめられなかったので, 生活習慣病患者群で交感神経緊張状態にあるとはいえない。いずれの群でも映像視聴前後での比較では, %LF, %HF, LF/HF に有意差はなかった。映像負荷という比較的弱い刺激に対する応答を測定するためには, 十分な信号/雑音比を持たないためと思われる。このため, 吉沢らの提案に従い (上記 3-1 研究の戦略の項を参照), 血圧・心拍数間の入出力関係の解析により, 利得 ($\rho \max$), 位相の計算を行った。生活習慣病患者では健常対



*CRfactorは対光反射の安定性を示す指数
 Ando, T., et al., *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 97, 129-135, 2002.

図8 生活習慣病患者と健康者との比較

左側は両群でのCRfactor (本文参照) の比較。t検定により有意差がみられた。右図の●は患者群, ○は健康群を示す。各点に付した数字はCRfactorを示す。CRfactorが両群をほぼ分けることに注意。詳細は文献22を参照。

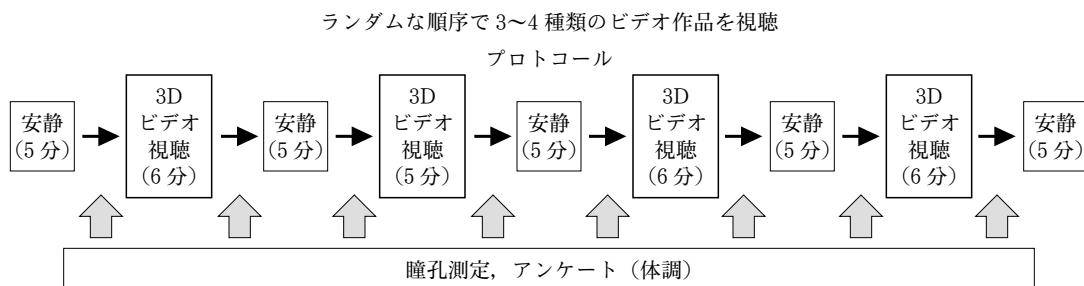


図9 立体視映像の呈示手順

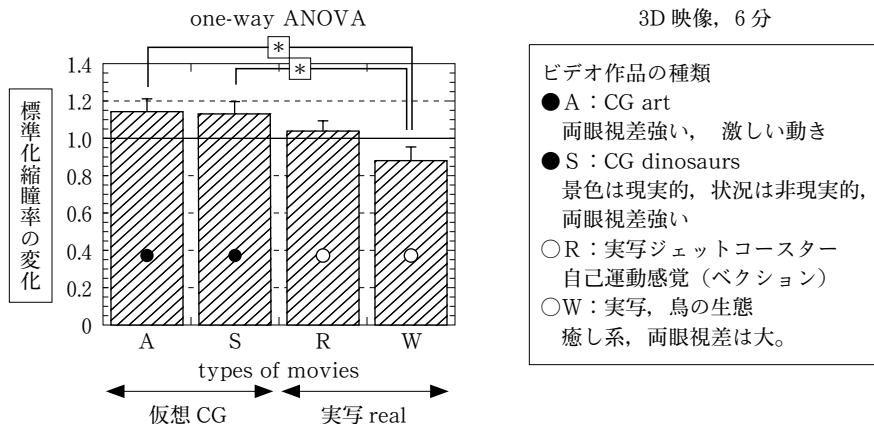
上向きの矢印の部分で瞳孔測定およびアンケート調査を行った。安静時間は血圧・心拍数関係を安定に測定するために5分間とした。

照群と比べて、映像視聴後に位相遅れが大きくなる傾向がみとめられた。今後、例数を増やして統計的検討を行いたい。

自律神経機能は、外乱が加わった場合に、生体反射系によるサーボ機能を通じて身体の状態が元の状態に復帰するように働く。生活習慣病患者では、自律神経系のフィードバックの利得が低かったり、位相が遅れたりすることを示した結果であると解釈できる。

実験2: 各被験者は4種類の性質の異なる映像(6分)をランダムな順序で視聴した(図9)。すなわち、1人の被験者に対して異なる実験日の同じ時刻帯に異なる順序で4映像を呈示した^{24), 25)}。

視聴の前および後に各々5分の安静時間を設け、各安静時間での測定値を用いて、映像視聴の効果を比較した。映像呈示の前後で、対光反射を測定し、その縮瞳率の比をとると、映像の種類によってその変化の程度が異なった。すなわち、映像視聴後にCG映像では縮瞳率が大きくなった(図10)。血圧反射については、 ρ maxに同様の変化がみられた。このようにCG映像の方が映像視聴後に大きな生理指標変化を起こした。一方、生理指標変化と同時にアンケートのスコア変化を調べた。瞳孔反射、血圧反射ともに、実写映像ではアンケートスコア変化と生理指標変化との間に有意の相関がみられたが、CG映像は生理指標の変化



Bando, T., et al., Jpn. J. Physiol., 52: S175, 2002. Changes in autonomic functions and subjective evaluation of physical conditions by three different types of stereoscopic video movies.

図 10 瞳孔反射の変化

4種類の異なる映像(2つはCG, 2つは実写)を提示した場合の対光反射振幅の比較。年齢, 個人差による影響を少なくするために縮瞳率CR(本文参照)を用いて標準化した。CGによる仮想映像を視聴した場合には, 実写映像と比較して対光反射の振幅変化が大きかった。

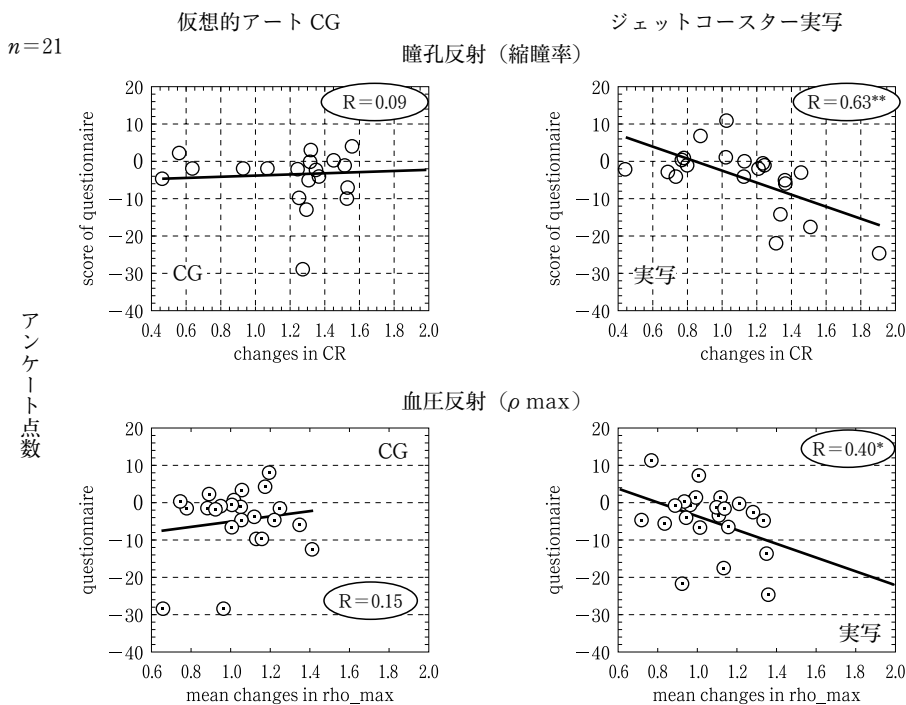


図 11 自覚データと客観データとの相関

アンケート(本文参照)のスコアと対光反射振幅, 循環反射指標(血压・心拍数間の相関係数の最大値 ρ max)との間の相関。相関係数は図中に示す。実写映像の場合には, 瞳孔反射, 循環系の圧反射の双方で有意な相関を示した。

が大きいにも関わらず、両者の相関は有意でなかった（図 11）。この結果は、実写映像の場合には生理指標の変化を自覚できたのに対して、CG 映像では自覚できなかったと解釈される。

4. 将来へ向けて—博物学から科学技術へ

以上述べたものと同様な実験を新潟大学精神科の塩入俊樹らは、パニック障害の患者群^{26), 27)}について行い、同様の変化を得た。種々の疾患や身体状態について同様の実験を繰り返し行う必要がある。しかし、単に映像視聴の生理指標変化を測定・分析すること、あるいは生理指標の変化間の相関をとるのみでは、刺激・応答間の因果関係を明らかにすることは出来ない。そのためには、映像の定量的・定性的な操作が必要である。1つの方法は、中心視の領域とそのまわりの周辺視の領域とが各々どのような効果を持つかを調べることである。新潟大学眼科の谷本直之らは中心視野を接近する視標を追う輻輳眼球運動の性質が周辺視野の動きに如何に影響されるかを調べることにより、この点について分析をはじめている²⁸⁾。周辺視野が生体に与える影響については金沢工大の近江政雄も報告している²⁹⁾。また、繰り返し同じ動きを見せた場合の眼球運動の変化についても新潟大学眼科の高木峰夫らが調べている³⁰⁾。さらに、他のアプローチとして、映像の基本要素を人為的に組み合わせた合成映像を用い、各要素の生体影響を因果的に明らかにする実験を新潟大学自然科学研究科の木竜徹らと進めている。このデータに基づいて、理論的・実験的なモデルを構成し、その援けを借りて実験データの分析・再構築を行うことができる³¹⁾。

映像要素を定量的に表現する指標の1つとして、画像圧縮の過程で抽出される「動きベクトル」³²⁾がある。画像要素には形、色、動きなど多くの要素がある。その中で、重要な要素は画像の動きである。動きベクトルにはローカルなもの、グローバルなものがあり、「ローカルな動きベクトル」は画面の中の画像要素の相互の動きを示し、「グローバルな動きベクトル」はカメラの動きに相当する指標である。まず第一歩として、新潟大学自然科学研究科の南保洋子らはマウンテンバイクの

上にカメラを据えて撮影した実写映像を見せ、映像酔いを起こしたシーンを集めて、その動きの特徴を分析した。2~3 Hz の遅い前後方向への動きの後で、短い休みの後、8~10 Hz 程度の速い動きが起こる組合せが、頻繁にみられる特徴的な動きであった³³⁾。この結果は、単一周期だけからなる単純な動きでは映像酔いが起こりにくいことや、2~3 Hz の遅い揺れが重要な要素となること等のこれまでの知見と一致した。

次に、実写映像をブロックに分け、ここから抽出された「動きベクトル」をランダムドットの対応点に与えて、合成映像を構成した³³⁾。すなわち、実写映像から「動き」のみを分離して表現した映像と考えられる。合成ランダムドット映像を用いて生体応答を測定することによって、「動き」の要素とそれが引き起こす生体応答との間の因果関係についてさらに進んだ分析を行うことができよう。被験者実験を行い、「グローバル動きベクトル」（カメラの動きに相当）を用いて合成したランダムドット映像と、元の実写映像を呈示した場合の眼球運動の比較を行った。実写映像による眼球運動に比べて、「ランダムドット動きベクトル映像」を見た場合には、明らかに細かい眼球運動が少なかった（図 12）。しかし、双方の眼球運動に対してローパス処理を行って「遅い動き」のみを求めると、両者は良く一致した。一方で、瞳孔は実写映像を提示した場合には、その画面の明るさに応じて瞳孔径が変化したが、ランダムドット映像の場合には明るさが一定であるので、瞳孔の変化はほとんど見られなかった。これらの結果は、「グローバル動きベクトル」が反映するカメラの動きに対応して眼球運動が引き起こされたものと解釈することができる。アンケート調査による主観的体調変化、生体応答の変化等を分析した結果については、新潟大学自然科学研究科の野村恵理らが現在分析中である³⁴⁾。映像には動きの他にも、明るさ変化、雰囲気など多くの要素がある。さらに研究を進めることが必要である。一方で、新潟大学自然科学研究科の小林倫丈らは、これらのデータを用いて生体影響を予測するための工学モデル³¹⁾を求めている。さらに、研究を進めることにより、妥当な評価関数を定めることが今後の

ランダムドット／動き映像とマウンテンバイク実写映像に対する眼球運動

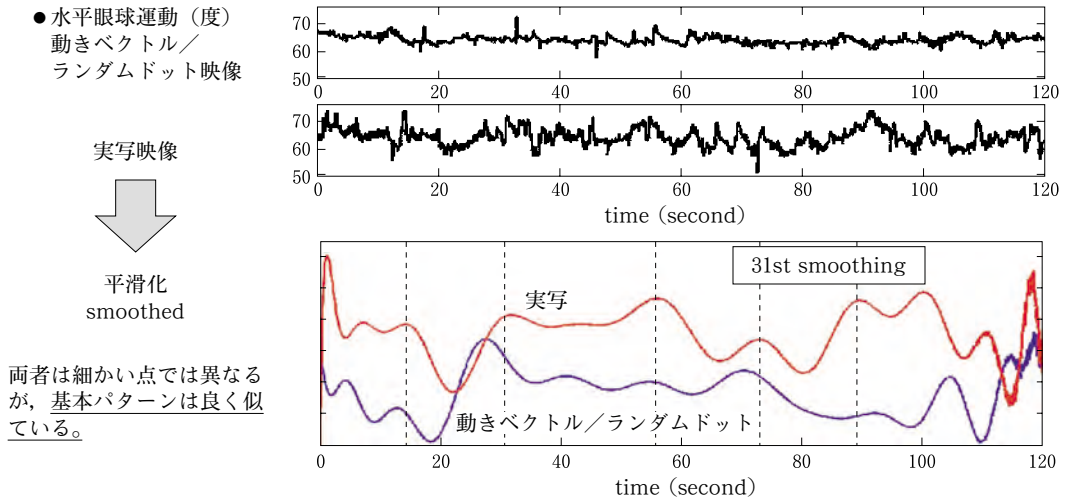


図 12 動きベクトルテスト映像と実写映像を視聴したときの眼球運動

上図は動きベクトル合成映像（本文参照）視聴時の水平眼球運動（上）と実写映像視聴時の水平眼球運動（下）を示す。下図は両方の眼球運動をローパスフィルタにより処理した波形。両者はよく対応した。

課題である。これらの成果を基礎として、生体影響予測の方法を確立し、その予測ルールに基づいて、健康安全に関する危険度の自動判別システムを開発し、映像制作者が容易に自らの作品の安全性を高めるツールとして提供することができれば、映像から直接に健康安全の程度を予測することができよう^{35), 36)}。また、これらの成果を多くの人が利用できるようにデータベースを整備するとともに、これらの成果を基礎として、国際標準として提案することができよう。

5. 情報社会での健康安全を維持する対策

映像が制作されてからユーザが視聴するに至るまでの過程を考えると、コンテンツの制作、配信など幾つかの段階に分けられる。制作するコンテンツはドラマ、アニメーション、ゲームなどがある。これらの映像を配信する方法としては、放送のほかにもインターネット、ビデオなどがある。映像の呈示方法としては、普通のテレビの他に、大画面テレビ、携帯電話などの小さな画面、立体視映像などがある。また、視聴環境は家庭で見るほかに、劇場やテーマパークなどの大規模公衆環境、携帯電話のようなモバイル環境などもある。また、ユーザとしては、健常な成人の他にも、幼

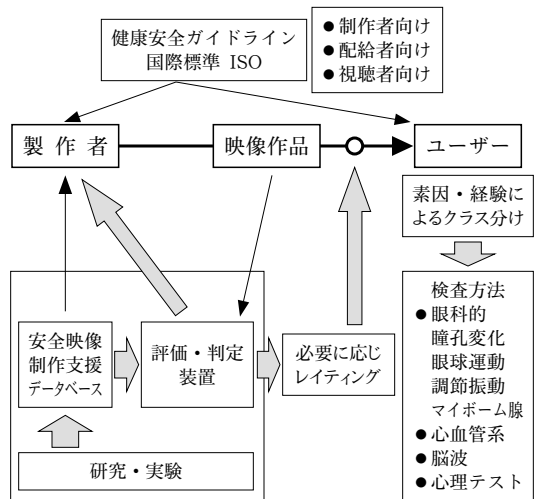


図 13 映像の健康安全を守るための概念図

制作者はガイドライン等を参照し、また安全性評価・判定装置を活用して、自らの制作意図を満たしながら、健康安全に留意した作品を作ることができる。またユーザーは素因、体調に応じたランク分けを利用して、刺激の強い映像を避けることが可能となる。

児や老人、病気を持った人、種々の遺伝的因子を持った人などいろいろである。映像視聴に関わる健康安全を守るためには、これらすべての要因を考慮し、各段階で、種々の研究で得られたデータ

を活用することが必要であると考えられる。映像の生体に対する影響についてのデータベースを元にしたガイドライン、評価・判定装置を活用して、制作者が自ら、制作意図を損なわずに健康に問題がない映像を作成するためのツールを提供することが重要である。このようなツールを活用することにより、表現の自由を損なわずに健康安全を守ることができよう。但し、このような努力なしにマーケットに提供される映像もあると考えられることから、必要に応じて映像に対するレイティングを行う制度も不可欠であろう（図13）。

謝 辞

本研究は日本眼科医会「IT眼症と環境因子」研究会（会長、木下茂京都府立医大教授）の研究の一環として行われた。日本眼科医会の支援に感謝する。なお、本稿は、われわれが加わっている多くの研究での成果を含んだ形で述べた。位置付けを含み、分かりやすいと考えたからである。これらの研究について経済産業省、機械システム振興協会、科学技術振興機構、日本自転車振興会に感謝したい。共同研究者の新潟大学医歯学総合研究科、高木峰夫、植木智志、阿部春樹（眼科）、戸田春男、小山田浩（生理）、早稲田大学理工学部の鶴飼一彦、新潟大学自然科学研究科の木竜徹、南保洋子、小林倫文、野村恵理の諸氏に感謝したい。

[文 献]

- 1) Saito M, Tanaka T, Oshima M: Eyestrain in inspection and clerical workers. *Ergonomics* 24 : 161-173, 1981.
- 2) Pigion, R. G., Miller, R. J., Fatigue of accommodation: changes in accommodation after visual work. *American Journal of Optometry & Physiological Optics* 62 (12) : 853-863, 1985.
- 3) Saito S, Sotoyama M, Saito S, Taptagaporn S: Physiological indices of visual fatigue due to VDT operation: pupillary reflexes and accommodative responses. *Industrial Health* 32 : 57-66, 1994.
- 4) Gur S, Ron S, Hecklen-Klein A: Objective evaluation of visual fatigue in VDU workers. *Occupational Medicine* 44(4) : 201-204, 1994.
- 5) Ukai K, Tsuchiya K, Ishikawa S: Induced pupillary hippus following near vision: increased occurrence in visual display unit workers. *Ergonomics* 40 : 1201-1211, 1997.
- 6) 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.
- 7) <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>
- 8) <http://www.itc.org.uk/>, Guidance note for licensees on flashing images and regular patterns in television. ITC, 2001. First issued as an ITC Guidance Note November 1994, first revised September 1999, revised and re-issued July 2001.
- 9) Harding, G.A.: TV can be bad for your health, *Nature Medicine* 4(3) : 265-267, 1998.
- 10) Harding Broadcast Flash & Pattern Analyzer, Harding の指導のもとに、CRS (Cambridge Research Systems) が開発、日本の代理店はナモト貿易。
- 11) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/index.html>
- 12) 3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書 (#1-#3), 平成9年3月, 平成10年3月, 平成11年6月, 生体モニタリングシステムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書, 平成12年3月, 映像デジタルコンテンツ評価システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書, 平成13年3月, 平成14年3月, いずれも機械システム振興協会, 日本電子情報技術産業協会編.
- 13) <http://www.sics-db.com/>
- 14) Akselrod, M., Gorden, D., Madwed, J.B., Snidman, N.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J.: Hemodynamic regulation by spectral analysis. *Amer. J. Physiol* 249 : 867-875, 1985.
- 15) Yamamoto Y, Hughson R.L.: Coarse graining spectral analysis: new method for studying heart rate variability. *J. Appl. Physiol* 71 : 1143-1150, 1991.
- 16) Brodal A, *Neuronal Anatomy*, 3rd ed., Oxford Univ. Press, New York, pp. 564-566, 1981.
- 17) Hasegawa S, Ishikawa T: Age changes in pupillary light reflex - A demonstration by means of a pupillometer. *Acta Soc. Ophthalmol. Jpn* 93 : 955-961, 1989.
- 18) 石川 哲, 「瞳孔検査」(p. 266-271) および岡尚

- 省, 「心電図 RR 間隔変動」(p. 140-147), 自律神経検査法, 日本自律神経学会編, 第3版, 東京, 文光堂, 2000/「自律神経系とその制御」(p. 113) および「心拍動の調節」(p. 182), バーン・レーヴィ基本生理学, 板東武彦・小山省三監訳, 新潟, 西村書店, 2003.
- 19) Ukai K, Saida S. and Ishikawa N: Use of infra-red TV cameras built into a head-mounted display to measure torsional eye movements. *Japanese Journal of Ophthalmology* 45 : 5-12, 2001.
 - 20) 杉田典大, 吉沢 誠, 田中 明ら: 血圧一心拍数間の最大相互相関係数を用いた映像刺激の生体影響評価, ヒューマンインターフェース学会論文誌 4(4) : 227-234, 2002.
 - 21) Yoshizawa M, Sugita N, Tanaka A. et al.: Quantitative and physiological evaluation of three dimensional images, Proc. 7th. International Conference on virtual systems and multimedia, IEEE, Washington (2001) p. 864-871.
 - 22) Ando T, Tanaka A, Fukasaku S, Takada R, Okada M, Ukai K, Shizuka K, Oyamada H, Toda H, Taniyama T, Usui T, Yoshizawa M, Kiryu T, Takagi M, Saida S, Bando T: Pupillary and cardiovascular response to a video movie in senior human subjects. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 97 : 129-135, 2002.
 - 23) Ukai K, Tsuchiya K, Ishikawa S: Induced pupillary hippus following near vision: increased occurrence in visual display unit workers. *Ergonomics* 40 : 1201-1211, 1997.
 - 24) 板東武彦, 田中 明, 小山田浩, 南保洋子, 戸田春男, 谷本直之, 木竜 徹, 吉澤 誠, 鶴飼一彦, 3D ビデオ映像視聴後の自律神経応答のコンテンツによる差, 第25回日本神経科学学会, 2002.
 - 25) 板東武彦, 田中 明, 小山田浩, 南保洋子, 戸田春男, 谷本直之, 木竜 徹, 吉澤 誠, 鶴飼一彦, 立体視ビデオコンテンツと生体影響, 第80回日本生理学会大会, 福岡, 2003.
 - 26) Kojima M, Shioiri T, Hosoki T, Sakai M, Bando T, Someya T: Blink rate variability in patients with panic disorder: new trial using audiovisual stimulation. *Psychiatry and Clinical Neuroscience* 56 : 545-549, 2002.
 - 27) Kojima M, Shioiri T, Hosoki T, Kitamura H, Bando T, Someya T: Pupillary light reflex in panic disorder: a trial using audiovisual stimulation. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 254(4) : 242-244, 2004.
 - 28) Tanimoto T, Takagi M, Bando T, Abe H, Hasegawa S, Usui T, Miki A. and Zee D.S.: Central and peripheral visual interactions in disparity-induced vergence eye movements: I. Spatial interaction. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 45 : 1132-1138, 2004.
 - 29) Takagi M, Oyamada H, Abe H, Zee D.S., Hasebe H, Miki A, Usui T, Hasegawa S. and Bando T: Adaptive change in dynamic properties of human disparity-induced vergence. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 41(12) : 3763-3769, 2001.
 - 30) 近江政雄: 映像の自己定位メカニズムへの影響, 「視機能と自律神経」シンポジウム, 第56回日本自律神経学会, 2003 (シンポジウム記録は学会誌「自律神経」に掲載, in press).
 - 31) 小林倫丈, 木竜 徹, 板東武彦: システム同定を用いた自己運動感をともなう映像が与える自律神経活動の予測, 第56回日本自律神経学会, 2003.
 - 32) 秦泉寺久美ら: スプライト生成のためのグローバルモーーション算出法と符号化への適用, 電子情報通信学会和文論文誌 D-II, J83-D-II, 2 : 535-544, 2000.
 - 33) 南保洋子, 小林直樹, 伊藤尚人, 木竜 徹, 板東武彦: 映像の動きベクトルと多変量生体信号との関係, 電子情報通信学会技術報告, MBE2001-75, 31-36.
 - 34) 野村恵理, 木竜 徹, 中村亨弥, 板東武彦: 動きベクトルのパラメータ変化が与える自律神経系への影響評価, 第56回日本自律神経学会, 2003.
 - 35) 板東武彦: 映像社会と健康安全, 臨床眼科学会シンポジウム (IT 眼症と環境因子), 第57回日本臨床眼科学会, 2003.
 - 36) 板東武彦: ユビキタス情報社会と健康安全, 第56回日本自律神経学会会長講演, 2003. (講演内容は学会誌「自律神経」に掲載予定, in press)

IT 化社会のエルゴノミクス課題

齊 藤 進・外 山 みどり

(独立行政法人産業医学総合研究所)

城 内 博

(日本大学大学院理工学研究科)

丸 本 達 也

(丸本眼科)

〔要 約〕

一般に、新技術の開発は両刃の剣である。IT も例外ではない。IT 化の進展は、人々の生活を便利で快適なものとする反面、職場のストレスを増加させ、働く人々の心身の健康を損なう要因となる場合がある。VDT 利用者の疲労自覚症状調査からは、訴えの多くが作業空間・照明条件・機器配置等のエルゴノミクス因子と関係することが示されている。IT 化職場にみら

れる最近の特徴として、ディスプレイの大型化とノート PC 利用の増加がある。これらエルゴノミクス上の問題点を明確にするとともに、高齢者や子どもたちを含めたすべての人々にとって快適で豊かな IT 環境を実現するための方策につき、現場調査及び実験的研究結果に基づき探ることにした。

はじめに

情報技術 (IT, Information Technology) は、21 世紀初頭を飾る時代のキーワードである。わが国の科学技術基本計画¹⁾によれば、情報通信技術分野は、ライフサイエンスや環境分野等とともに科学技術の戦略的重点化領域として平成 13 年 3 月に閣議決定されている。このことは、今後 5~10 年程度を見通して、国の科学技術に関わる研究費が IT 分野等に対し重点的に国家戦略として投資されることを意味している。

IT 技術の進展と並行してわが国は少子高齢化社会を迎え、本研究では、年齢の異なる多くの人々が情報化社会に快適に適合するための共生要件を、エルゴノミクス及び産業医学の視点から明らかに

することを目指した。一般に、新しい技術の開発は両刃の剣である。情報通信技術も例外ではない。社会における IT 化の進展は、人々の生活を便利で快適なものとする反面、職場や社会において日常的にストレスを増加させ、ときには働く人々の健康障害を心身両面から引き起こす要因となる場合がある。エルゴノミクスは人間工学とも呼ばれ、人と機械との好ましい関係を求める実践的科学である。以下に、快適で豊かな IT 環境を実現するための諸要因を探ることにする。

I. IT 化職場にみられる最近の特徴

平成 11 年発表の労働省調査²⁾や中央労働災害防止協会報告³⁾によれば以下の事項が指摘されており、実際の IT 化職場では多くの課題を抱えて

いることが分かる。

(1) 約98%の事業所の事務管理部門にコンピュータ機器が導入され、約39%の事業所が社内外のコンピュータとオンラインでネットワーク化している。同部門では、90%を越す労働者がVDT機器を利用しており、職場のIT化は今後とも急激に進展する見込みである。

(2) 職場でコンピュータを利用することにより、身体的疲労自覚症状のある労働者は約78%と極めて高率である。VDT作業者の訴えの多くは、作業空間・照明条件・機器配置等のエルゴノミクスの因子に関わる内容である。

過去を遡れば、コンピュータが職場に導入されてきたのは、1970年代後半である。はじめは新聞社の編集業務や航空会社の予約業務など限られた人々がVDT作業者であった。職場への導入初期のころ、CRT(陰極線管)など電子ディスプレイから放射されるX線やVDT機器から発生する電磁波の生殖毒性や皮膚障害などの健康影響が懸念されたことがあった。その後、国内外の公的機関が当該課題に関する調査を実施した結果、両者の間の科学的な因果関係は多くの研究で否定されている。なお、職場における電磁場環境と健康影響を多方面にわたる観点から整理した優れた総説があり、多いに参考となる⁴⁾。

VDT作業に関わる健康影響は、メンタルヘルスを別とすれば、生理的には視覚系や筋骨格系を中心とした内容である。原因としては、照明や作業姿勢など不適切な作業環境や環境管理などエルゴノミクスに関わる要因が多い(図1)。これら

- | |
|---|
| (1) VDT機器等
デスクトップ型PC、ノート型PC、ソフトウェア、椅子、机 |
| (2) 調整の仕方
椅子、机、姿勢、ディスプレイ、入力機器、ソフトウェア |
| (3) 照明及び採光
書類上及びキーボード上の照度は300lx以上、画面照度は500lx以下 |
| (4) グレアの防止
必要に応じ、グレア防止型照明器具の使用 |

図1 職場のIT環境とエルゴノミクス要件

VDT作業に関わるエルゴノミクス要因を、以下にまとめて示すことにする。

- (1) 作業場の照明やディスプレイなどの光環境要因
- (2) 机や椅子など作業者の姿勢に関する要因
- (3) 温湿度、空調、騒音などの物理的要因
- (4) 休憩時間や職務設計などの作業設計要因
- (5) 年齢、健康状態、適性などの個人的要因

実際の職場における照明環境を調査した例を、次に紹介する。調査対象とした作業場において、51個所のVDT機器の照明条件を定量的に測定評価した。机やキーボード上などの水平面照度と、ディスプレイ面が受ける鉛直面照度を測定し、光環境要因を検討した。これらの測定値を、水平面照度と鉛直面照度軸の散布図として図2に示す。水平面照度の平均値と標準偏差は、机上面で 996.8 ± 255.3 lx、キーボード上で 922.0 ± 267.7 lx、画面の鉛直面照度は 669.6 ± 318.2 lxであった。これらの値は、従来からVDT作業場の照明基準として推奨されている照度に比べ、水平面・鉛直面照度ともに非常に高いことがわかった。例えば、1985年の労働省労働基準局長通達「VDT作業のための労働衛生上の指針について」によれば、VDT作業場の水平面照度は300~1,000 lx、鉛直面照度は500 lx以下として照明条件を推奨している。今回調査した作業場では、この推奨基準範囲内にあるVDT機器は21.6%であり、78.4%のVDT機器は高すぎる照度環境に配置されていることが分かった。VDT作業者の疲労自覚症状調査等によるアンケート結果で示される眼の疲れや、

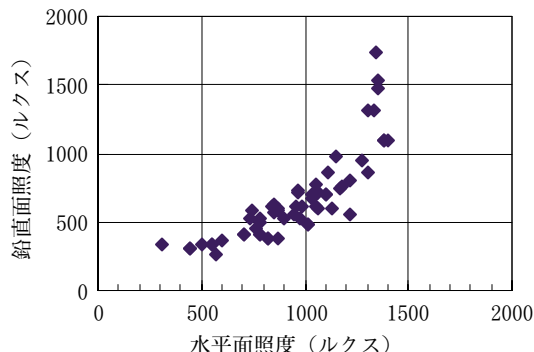


図2 VDT職場における水平面照度と鉛直面照度の実測値

FPD（液晶画面等のフラットパネルディスプレイ）利用時の画面の見にくさや反射の訴えは、不適切な照明環境によるものと考えられる。ノートPC（パソコン）などFPDの画面は、多くの場合CRTより傾斜角度を緩くして利用されており、天井照明などグレア光源の映り込む影響をより多く受けるからである⁵⁾⁻⁹⁾。なお、2002年に改訂された厚生労働省の新しい「VDT作業における労働衛生管理のためのガイドライン」¹⁰⁾では、水平面照度の上限値1,000 lxは廃止されている。

一方、情報化職場にみられる最近の著しい特徴として次の2点を挙げることができる。

- (1) ディスプレイサイズの大型化
- (2) ノートPC利用の増加

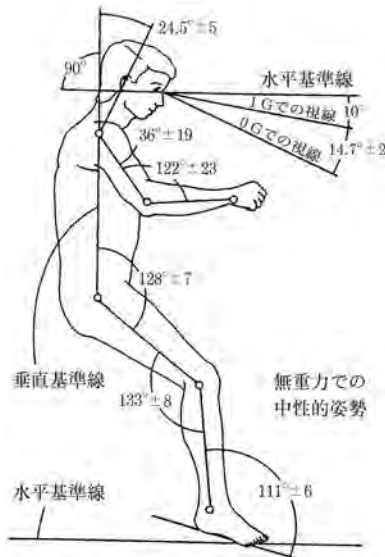
これらの特徴は、画面のみやすさや使い勝手のよさから急速に職場への導入が進められている現象ではあるが、エルゴノミクスの観点からは多くの課題が残されているものである。以下に、これらの課題について具体的に述べることにする。

II. ディスプレイの大型化に関するエルゴノミクス上の問題点

最近のオフィスでは、文字ではなく絵や図等のアイコンで情報を呈示するグラフィックユーザ

インタフェースが多用されるにともない、ディスプレイ画面サイズの大型化が進行している。従来の狭い事務机の上に17インチ以上の大きな筐体が置かれる結果、VDT作業者は、短い視距離で上方視を長い時間続けることを強いられることになる。近見作業は、下方視で行うことがエルゴノミクス上の原則である¹¹⁾。ヒトの作業姿勢を考える際に興味深いデータとして、米国NASAが公表した宇宙飛行士が無重力空間で示す自然な姿勢¹²⁾と、VDT作業と機器に関わる古典的教科書であるVDTマニュアル¹³⁾で推奨されている作業姿勢を図3に示した。

一方、実際のVDT作業者の視線を調査した結果、従来型の机上作業に比べVDT作業では約30度以上の上向き視線で仕事をしていることがわかった。これを図4に示す。この研究はアイカメラを使い、いろいろな作業時の平均的な垂直眼位を解析したものである。図では、耳眼水平面（フランクフルト平面）より上方を+で表している。机上が視対象となる従来の事務作業では、およそ25度の下方視が保たれているのに対し、VDT作業時には平均的に7.5度ほど視線が上向きとなっていることがわかった。VDT作業時に上方視を続けることが、結果として頭頸部などに無理な拘束



無重力状態で観察される中性的姿勢（NASA, 1978）

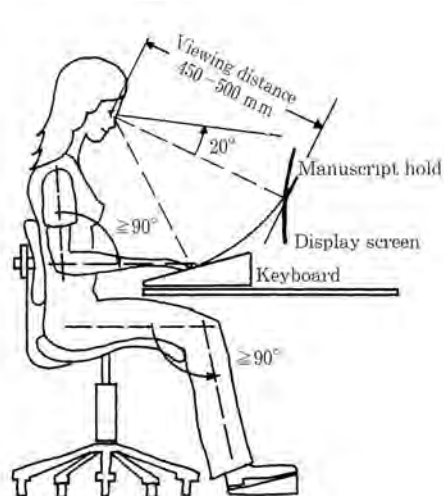


図3 無重力空間での自然な姿勢（左図）¹²⁾とVDT作業時の推奨姿勢（右図）¹³⁾

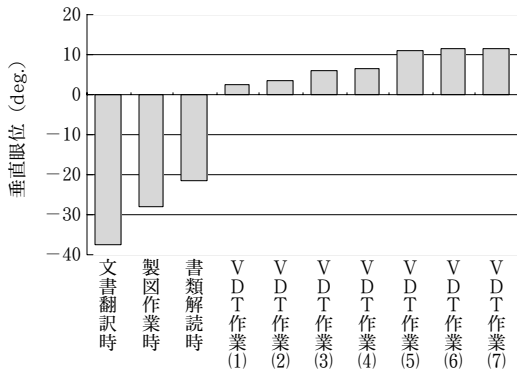


図4 いろいろな視覚作業時の平均的垂直眼位

姿勢を強いることになり、頭頸部などのこりや痛みに繋がると考えられる。見やすさを目指したディスプレイサイズの大型化は、当然のことながら上方視を増加させることになる。

III. 上方視の生理的問題点

—眼の快適性と安静位

ディスプレイを注視する作業の特徴の1つが、上向き視線にあることを上に述べた。上方視で近見作業を続けることが不自然な状態であり、生理学的に過剰な努力を作業者に強いることを、実験結果として以下に示す。

1. 上方視と眼球露出表面積の増加

垂直方向に眼球が動くと、上眼瞼つまり上まぶたが自然に連動して動く。両者の動く方向は一致しており、互いに時間的な遅れはない¹⁰⁾。これは共同運動と呼ばれる生理的現象であり、眼球の上転時に上眼瞼で視野を遮られないためにも都合がよいしくみである。しかし、そのために、眼球の上転時に上下の眼瞼間隔つまり瞼裂幅が増すことになる。結果として、上方視に伴い、眼球露出表面積が大きくなる。垂直眼位と眼球露出表面積との間には、相関係数 0.97 という高い直線関係が認められる。ちなみに、通常の机上作業時の眼球露出表面積は 2.0 cm² であり、VDT 作業時には 3.2 cm² となる。上方視を続けることによる眼球露出表面積の増加が、VDT 作業者の眼の乾きや痛みの訴えと関係すると考えられている。次に述べるように、両眼輻輳の安静位についての実験も、上方視が生理学的に不利なことを示している。

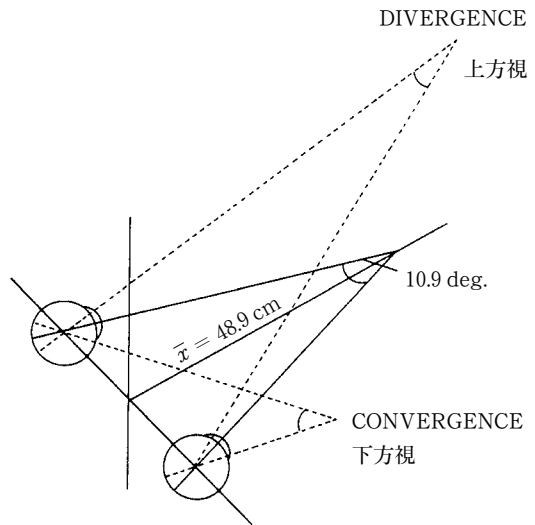


図5 上方視による輻輳安静位の遠方化

2. 上方視と輻輳安静位の遠方化

視覚刺激の無い暗黒中で、垂直眼位と調節安静位の関係を解析した。両眼視線の計測にはアイカメラを使い、14名の若い被験者で輻輳安静位を実測した¹⁵⁾。両眼の注視点を2次元座標として求め、三角測量の原理で両眼の輻輳角度あるいは両眼視線の交点を輻輳安静位として算出したものである。その結果、64%のヒトで、輻輳安静位と垂直眼位との間に有意な直線的な相関関係が認められることがわかった ($r=0.62$ $p<0.05$)。得られた回帰式は次のようである。

$$Y = 1.04X + 51.25$$

X: 垂直眼位 (deg)

Y: 輻輳安静位 (cm)

この結果から、上方視では輻輳安静位は遠方へ移動し、下方視では近づくことになる。VDT作業など近見時には、視線が下向きになるように機器を配置することが生理学的に自然であり、人間工学的に望ましいことがわかる。上向き視線で近見作業を続けることは、両眼の輻輳システムへ過剰な努力を強いることになる。このことを模式的に図5に示した。

IV. ノート PC 利用に関する エルゴノミクス上の問題点

ディスプレイの大型化は、机上スペースを減少させるだけでなく、作業姿勢にも影響し、筋骨格系の負担を増加させる。さらに、画面注視時の視線が上向きとなることにより、眼球露出表面積の増加や調節安静位の遠方化等を引起すことを紹介した。一方、ノート PC は、電子情報技術産業協会による国内 PC 市場統計によれば、デスクトップ型 PC の出荷台数を超え、ノート型構成比は約 60% である。ノート PC 利用が増加している理由は、わが国特有の省スペースニーズ、ノート PC のパフォーマンスの向上、モバイル利用の増加等が挙げられており、今後とも比率は更に高まることが予測されている。このように、ノート PC は省スペース・省エネルギー・携帯性等の点で優れた機器であるが、一方、職場で恒常的に使うには、拘束姿勢・操作性低下・視覚疲労等からはエルゴノミクスの配慮すべき事項も多い。キーボードとディスプレイが分離できず一体型であることは、利用者の姿勢を拘束し自由度を奪うことになる。

私どもで行ったノート PC 利用時の視距離、関節角度等の姿勢解析、キー操作時の入力速度や正確さ等の作業パフォーマンス、疲労自覚症状に関わるアンケート調査等の結果からは、ノート PC には多くのエルゴノミクス上の問題が残されていることが示されている。図 6 に、これらの研究で姿勢解析に用いた項目を示す。ノート PC 利用時には、動きの少ない拘束された作業姿勢、短い視距離、視野角依存性、視覚疲労等が具体的課題として抽出された^{16), 17)}。

これらノート PC 利用に関わるエルゴノミクス上の問題点を明確にし、解決策を明示したガイドラインが日本人間工学会¹⁸⁾ 及び国際人間工学会¹⁹⁾ から出版されているので利用を勧めたい (図 7)。

以上に述べてきたディスプレイサイズの大型化とノート PC のエルゴノミクス上の問題点を、VDT 機器利用の変化として図 8 にまとめて示した。



図 6 ノートパソコン利用時の姿勢解析



図 7 ノートパソコンの課題を解決するためのガイドラインの例¹⁸⁾

日本人間工学会 ノート PC 利用の人間工学ガイドライン
— 外付け機器の利用 —

- | |
|---|
| <p>(1) ノート PC 利用の増加</p> <ul style="list-style-type: none"> • 視距離の短縮 • 拘束された作業姿勢 • 視覚疲労 <p>(2) ディスプレイの大型化</p> <ul style="list-style-type: none"> • 作業姿勢への影響 • 眼球露出表面積の増加 • 輻輳安静位の遠方化 |
|---|

図 8 VDT 機器利用にみられる最近の特徴と人間工学上の問題点

V. IT 化社会と高齢者や子どもたち

1. VDT 作業者の年齢と疲労自覚症状

東京都内にある某新聞社の協力を得て、幅広い年齢層の VDT 作業者を対象としたアンケート調査を実施し、自覚症状にみられる加齢変化を検討した。新聞社の編集、制作、電子メディア、システム、出版、広告等を担当する各部署で働く VDT 機器利用者へのアンケート調査である。有効回答者は総計 862 名であり、年齢別には、20 歳代 21.6%、30 歳代 36.1%、40 歳代 30.7%、50 歳代 11.6% と広範囲に分布していた。

使用機器や作業環境などエルゴノミクス関連項目の他、筋骨格系と視覚系の疲労や心身の自覚症状に関する項目をアンケート調査した。VDT 機器利用者の自覚症状を尺度化するため、視覚系や筋骨格系など身体各部位の痛みと疲れ、だるさなど全身的症状、メンタルヘルス等に関する質問 30 項目を作成し、回答者は、症状が「全くなかった」から「たびたびあった」の間を 4 段階で評定した。以下に、年齢別にみた自覚症状の特徴について述べる。

加齢と自覚症状の関係を解析するため、862 名の自覚症状回答データに対し、各 30 項目の評点結果を回答者の年代別に有意差を検定した。年

代は、20～50 歳代の 4 群に分け、各群と自覚症状の関係を Kendall の順位相関と、Kruskal-Wallis の一元配置の分散分析により求めた。図 9 に示すように、全 30 項目のうち 10 項目が、両検定法により年齢と有意に関係することが分かった ($p < 0.01$)。図中、自覚症状項目につけられた番号は、30 項目中の該当番号である。加齢にともない有意に訴えが増す項目は、14. 視力低下と、17. 焦点調節の困難さであった。これに対し、15. 眼の疲れ、16. 眼の乾き、2. や 30. の全身的な疲れ、4. 5. 19. の頭部や頸肩部の痛みやコリは若年者ほど訴えが強いことが示された。加齢による生理的機能の違いとともに、年齢による業務内容の違いがこのような結果に反映されていることが考えられた。年齢による自覚症状の違いは、視距離や作業姿勢とも関係することが考えられた。比較的規模の大きな本調査により、VDT 作業者の自覚症状について、年齢の違いによる訴えの内容を具体的に把握することができたと考えている。年齢要因に対するエルゴノミクス上そして労働衛生上の格別な配慮が、作業環境管理の上から必要であろう。

また、私どもが以前に行った実験として、VDT 画面上の呈示視標を観察しているときの水晶体の焦点調節機能と瞳孔運動を、年齢の異なる

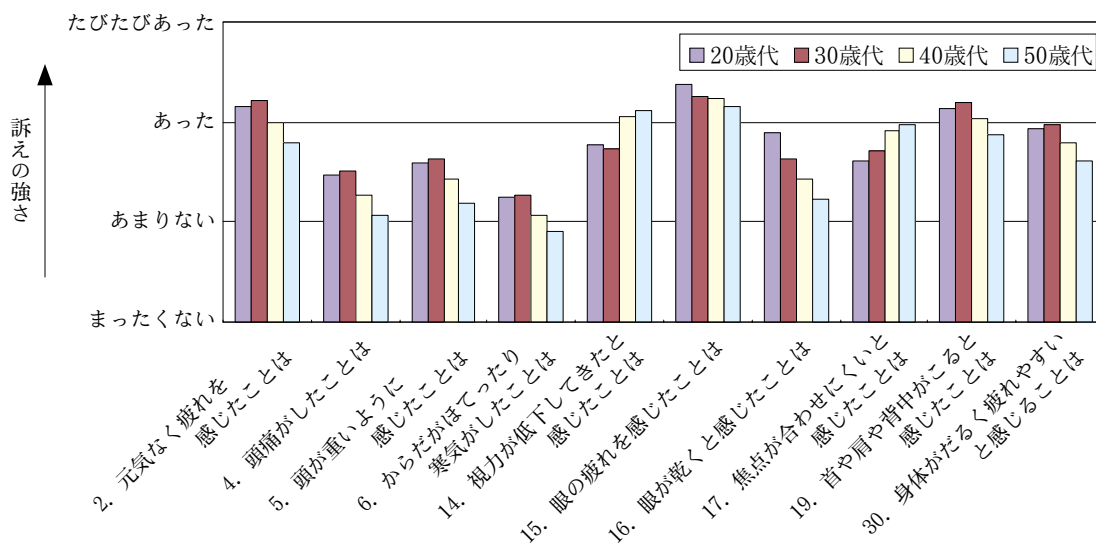


図 9 新聞社における VDT 作業者の疲労自覚症状と年齢 (合計 862 名)

3階層で比較した結果を以下に紹介する。水晶体の焦点調節を解析するために、オートレフラクトメータを改造したシステムを利用した。瞳孔運動については、前眼部のビデオ映像から瞳孔径を求めた。被験者は、20歳代(22.4±0.9歳)、30歳代(33.4±3.0歳)、50歳代(49.4±2.4歳)の3群各5名で、合計15名について測定を行なった。被験者の視力は矯正し、無調節時の屈折値は、いずれの被験者でも1.0D(ディオプター)未満であった。実験は暗順応下の全暗室で行い、視標としてCRTディスプレイ上に直径17.5mmの円を呈示した。視標輝度は、暗順応下で見やすい明るさと評価された1.06 cd/m²とした。視標位置は、CRTディスプレイと被験者の観察眼との間に配置したハーフミラーとシャッターなどの光学系により、2.0m(0.5D)と0.5m(2D)に5秒間隔で交互に切り替えた。10回の繰り返し応答を平均加算し、調節と瞳孔応答の測定値とした。実験結果として、焦点調節機能に著しい加齢効果が確認されるとともに、加齢効果は、静的特性としての調節力よりも動的特性としての調節緊張速度により強く現れることがわかった。年齢を加えるとともに、焦点合わせの速度が遅くなり、文字を読み取るまでの時間が必要になることが示された。瞳孔径の解析結果からは、加齢にともなう縮瞳現象が確認されるとともに、遠視標観察時の瞳孔径に比べ近視標観察時の縮瞳つまり近見反射が中高年齢者の場合にも若年者と変わらずに機能していることが分かる。これらの結果は、完全な暗室で暗順応下において視標輝度1.06 cd/m²で得られたものである。別の実験で、視標輝度を高くし、また視標サイズを大きくすることにより、中高年齢者の調節力と調節緊張速度が改善されることが確認されている。このようなことから、縮瞳により焦点深度を大きくすることが、高齢者の衰退した調節機能を補う重要な役割を果たしていることがわかる。瞳孔径に対し最も大きく影響する照明環境に適切な配慮を行なうことが、特に高齢者の視覚特性からは非常に重要であると指摘することができる。

加齢にともない訴えが増す項目や若年者ほど強い項目があるが、今後とも高年齢VDT作業者は

増加することが確実であり、高齢者にも見やすいディスプレイの実現を機器開発者に期待したい。

2. 子どもたちのPC利用とエルゴノミクス課題

インターネットの急速な普及に代表されるように、従来のVDT作業者と異なる高齢者や子どもたちもIT化の影響を大きく受けることになる。上述したように、高年齢VDT作業者の調査結果からは、加齢にともない訴えが増す項目は、視力低下と焦点調節が困難なことであった。これに対し、眼の疲れや乾き、頭部や頸肩部の痛みやコリは若年者ほど強いことがわかった。

IT化は、職場に限らず家庭や学校でも急速に進められている。わが国では現在、すべての公立の小・中・高等学校がインターネットに接続できる環境が実現しており、また各教室で行われるすべての授業科目でもPCを利用したIT教育が可能になりつつある。この場合、エルゴノミクス上の配慮はほとんど顧みられることはないことが調査結果から示されている²⁰⁾。エルゴノミクスの原則は、人間中心設計であり、機械が人に合わせるものが基本である。学校環境の情報化は、同時に教師や子どもたちの心身に大きな負担を強いると言う側面がある。IT教育が導入された小学校では、子どもたちが成人用に設計された机・椅子・キーボード・ディスプレイを使用し、無理な姿勢で合わせている現状がある。IT教育の学校への導入には、子どもたちの姿勢や眼の問題等、筋骨格系や視覚系への過剰な負担を真剣に考えることが必要である。児童生徒の学習時の姿勢と視力の関係を検討した結果、視力低下群では、視距離の極端な短縮、近点の延長、調節力低下等が示されている²¹⁾。図10に、正視群と視力低下群とで比較した視機能等の測定結果、及び小学校でのIT授業風景を示した。写真に見るように、成人用に設計された什器や機器を子どもたちが利用する結果として、極端に短い視距離、前傾姿勢、足浮き、下腿部の圧迫、役立たない椅子の背もたれ等、エルゴノミクス上の多くの課題を指摘することができる。これらのことから、学校のコンピュータ利用に関し、エルゴノミクス上の考え方を導入する等の配慮を期待したい。

子どもの視覚機能
正視群と視力低下群における測定結果

	正視群	視力低下群	有意差
視距離 (cm)	30.2 ± 4.1	15.0 ± 1.9	p < 0.001
対数視力	0.04 ± 0.11	-0.45 ± 0.27	p < 0.001
近点 (cm)	11.3 ± 2.0	26.7 ± 7.8	p < 0.001
調節力 (D)	9.2 ± 1.1	3.3 ± 0.9	p < 0.001
年齢 (歳)	13.1 ± 0.6	13.3 ± 1.4	
身長 (cm)	160.6 ± 6.8	157.6 ± 8.0	



図 10 子どもの視機能解析結果 (左図) と小学校での IT 授業の実例 (右図)

おわりに

最近の VDT 環境の特徴であるディスプレイの大型化及びノート PC 利用の増加は、見やすさや機器の携帯性を向上させる反面、筋骨格系や視覚系の負担を増加させることにもなり、エルゴノミクス上の配慮が必要であることを示した。インターネットの急速な普及に代表されるように、高齢者や子どもたちも IT 化の影響を大きく受けることになる。高齢者や子どもたちのコンピュータ利用に関し、エルゴノミクス上の考え方を導入する等、一層の配慮を期待したい。

[文献]

- 1) 科学技術基本計画：第 2 章 2. 国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化，2001。
http://mext.go.jp/a_menu/kagaku/kihon
- 2) 労働大臣官房政策調査部：平成 10 年技術革新と労働に関する実態調査報告，東京，1999。
- 3) 中央労働災害防止協会：VDT 作業の労働衛生管理—その現状と問題点，東京，1999。
- 4) 城内 博，Villanueva M. Beatriz G：職場における電磁場環境問題，プラズマ・核融合学会誌 75：1-9，1999。
- 5) 齊藤 進，外山みどり，城内 博：VDT 作業に利用される FPD の課題，産業衛生学雑誌 39 (Suppl.)：S441，1997。
- 6) 齊藤 進：ノートパソコン利用の人間工学ガイドライン，日本人間工学会第 39 回大会シンポジウム，ノートパソコン利用のエルゴノミクス課題，人間工学 34 (Suppl.)：134-137，1998。
- 7) 齊藤 進：ノートパソコン利用の人間工学ガイドライン，日本産業衛生学会 VDT 作業研究会：1-4，1998。
- 8) 齊藤 進，城内 博，外山みどり：ノート PC / FPD のエルゴノミクスガイドライン，産業衛生学雑誌 40 (Suppl.)：340，1998。
- 9) Saito S, Sotoyama M, Jonai H: Ergonomic guidelines for using portable personal computers with flat panel displays, HCI International '99, Adjunct Conference Proceedings: 136-137, 1999。
- 10) 厚生労働省安全衛生部：VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン，2002。
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>
- 11) Grandjean E: Fitting the task to the man. Taylor & Francis, London, 1988。
- 12) 大島正光監訳：ヒューマンファクター—新人間工学ハンドブック— 同文書院，p.156，1989。
- 13) Cakir A, et al: Visual Display Terminals. Wiley & Sons Ltd., p. 173, 1980。
- 14) Saito S, Tada H and Tsukahara S: Eyelid-and-

- eyeball synkinesis in human visual system. Fukushima J. Med. Sci. 25 : 101-107, 1978.
- 15) Taptagaporn S and Saito S: Visual comfort in VDT operation: Physiological resting states of the eye. Industrial Health 31: 13-28, 1993.
 - 16) Villanueva M. B. G. et al: Ergonomic aspects of portable personal computers with FPD: Evaluation of posture, muscle activities, discomfort and performance. Industrial Health 36 : 282-289, 1998.
 - 17) Jonai H. et al: Effects of the LCD tilt angle of a notebook computer on posture. Int. J. Industrial. Ergonomics 29: 219-229, 2002.
 - 18) 日本人間工学会：ノートパソコン利用の人間工学ガイドライン：(財)労働科学研究所，川崎，1998.
 - 19) Saito S, et al: Ergonomic guidelines for notebook personal computers. Industrial Health 38 : 421-434, 2000.
 - 20) Sotoyama M, et al: An ergonomic questionnaire survey on the use of computers in schools. Industrial Health 40 : 135-141, 2002.
 - 21) Marumoto T, et al: Significant correlation between school myopia and postural parameters of students while studying. Int. J. Industrial Ergonomics 23 : 33-39, 1999.
-

VDT 業務とシックハウス症候群に 関する予報的研究

石川 哲

(北里研究所病院臨床環境医学センター長)

田中館 明博

(北里大学医療衛生学部医療工学科臨床工学専攻助教授)

角田 和彦

(坂総合病院小児科医長)

宮田 幹夫

(北里研究所病院臨床環境医学センター客員部長)

石川 均

(国際医療福祉大学眼科助教授)

平岡 真理

(平岡眼科)

鈴木 武敏

(鈴木眼科)

袴田 直俊

(浜松ホトニクス)

〔研究要旨〕

オフィス労働者にとってシックハウス症候群 (SHS と略) と Visual Display Terminal 症候群 (VDT と略) との関りは避けていく重要な問題である。しかし、この両者の問題を共通に採り上げて研究した論文は現在までに非常に少ない。本研究者の石川らは、英国の ERGONOMICS 33 : 787-798, 1990. にその可能性を指摘し、Sundell, J. Indoor Air 4 : 1-12, 1994. は、Sick & Damp-Building の職業的 VDT オペレーターの皮膚疾患、眼の乾燥、疲労問題につき報告し、その関連の重要性を指摘している。VDT 症候群の典型例は 1. 眼精疲労, 2. 頸肩腕症, 3. 精神的変化の 3 主徴を有する。その業務がシックハウス内で行なわれると症状が重くなり VDT 作業があたかも SHS の負荷試験となりうる。我々の調査では約 20 年前の VDT 研究は患者のアンケート調査のみでありこれでは診断の信頼性が乏しい事を指摘してきた。特に眼精疲労について、これを他覚的に表示が出来る方法を世界に先駆けて考案した。そして、患者の近見反応：調節、輻湊、縮瞳機能の機能的異常が見

られる事を指摘し、近見反応の記録の重要性を指摘した。1990 年に我々が報告した装置は大きく、実験室的な器械で、あった。これを用いて外部で健診することは不可能であった。従来から自律神経を研究する研究者からより簡易な装置の出現が熱望されていた。

我々は今回、日本で調節、輻湊、瞳孔を研究する研究者達と、浜松ホトニクスとの共同で健診にも利用可能かつ記録が正確で容易な「トライリス」：両眼の調節刺激、輻湊及び調節性縮瞳を記録する装置を開発した。それを用いて労働者の VDT 作業前後の調節性縮瞳変化を中心に研究した。今回の結果は予報的ではあるが、空気質の清浄な空間で VDT 労働する場合とホルムアルデヒド、トルエンなどが高値を示す可能性が考えられた条件下での VDT 労働者では調節刺激による瞳孔の縮瞳率が患者で減弱していることを見出した。その応答に差が見られた。これは、中枢性の自律神経異常が疑われるものである。

I. 研究目的

Visual Display Terminal (VDT) 業務は、空気質の control された空間にて行われるのが理想である。連続した業務でも一定の休養時間（1時間の連続業務で10分程度の休息）を取る事が法的に推奨されている。しかし、一般家庭ではこの原則は殆ど遵守されていない。連続して業務を続け極端な眼精疲労を訴えたり、精神神経的な症状（対人恐怖、うつ症状）や、頸・肩・腕の痛み、しびれなどの症状を訴える症例もある。もしも、VDT オペレーターの家がいわゆるシックハウスの場合問題はさらに複雑になる事を知っていた。Sundell, J (Karolinska 研究所) はこの問題の重要性を知り、1994年に「Sick-building syndrome in office workers and facial skin symptoms among VDT workers in relation to building and room characteristics: two case-referent studies」と題する論文を Indoor Air に報告している。本邦においては、これまで、この問題に着目した総合的研究は皆無である。しかしシックハウス問題とVDT業務（家庭内でVDT業務に専念している者も含む）は共存する可能性があり両者の関係を研究することは今後の個人の健康保持のために解明しておかなければならない問題である。とくに両者共、症状は自律神経系を中心とする不定愁訴から始まる。他覚的所見からこれを捉えないと精神的な訴えではないかと処理されてしまう事が多い。

眼は感覚器の代表として、生体の外界入力 of 80%以上を扱っているといわれる。瞳孔括約筋、毛様体筋、毛様神経節そして中枢のEdinger-Westphal核は豊富なコリン作動性支配が強い。微量なコリンエステラーゼ抑制作用でアセチルコリン蓄積がおこる。最も鋭敏なのは、調節、縮瞳、調節性輻輳であり、これが、シックハウス症候群などで、有機リン剤と接点がある患者の場合、その異常所見を眼機能を通じて、急性期、慢性期とも捉えることができる。その理由は、有機リン剤が点眼薬として盛んに使用された1970-1980年代に石川らの研究を含め主に米国New York大学眼科教室に多くの基礎、臨床研究がある¹⁾⁻⁹⁾。

今回新しく眼機能から、自律神経系の異常を検出可能な新装置が完成したので、それを用いて若干名の患者を予報的に検査しVDT, SHSに関して興味ある所見が得られたのでここに報告する。

II. 研究方法

検査には鈴木、平岡、石川他の研究で、赤外線電子瞳孔計（浜松ホトニクス）と両眼開放屈折近点計 D'ACOMO（ワック社）を組み合わせた装置を使ってみた。これは調節刺激による瞳孔反応、眼球運動の輻輳・開散が同時記録可能な装置である（トライイリス）。

被検者は屈折異常以外に眼疾患のない矯正視力1.0以上、両眼視機能100 sec以上（Titmus Stereo Test）の20~50歳、1. 健常男性48名でインフォームドコンセントをとった後調節性縮瞳散瞳および誘発される眼球運動即ち輻輳・解散を記録した。方法は照度約350 luxの部屋に5分間前順応し、オートレフラクトメータによる屈折検査、視力検査後、遠方完全屈折矯正下にてダコモイリスの指標を調節近点と遠方視50 cm間で0.3 D/sec（準静的刺激）にて3往復させ、瞳孔反応、眼球運動を計測した。検査に習熟させるため、最初の検査は採用せず、2回目のデータを出来るだけ採用した。2. VDT業務に1日4時間以上従事し、眼精疲労を中心に身体の異常を訴える者12名、平均年齢29.0歳（内3名はシックハウス症候群が疑われた患者）、を測定した。これら患者のすべてが新しいビルに移り業務を行って1年以上経過した症例である。VDT, SHSが考えられた3症例の気中濃度測定が施行されている。3例共新築、リフォームが行われ、ホルムアルデヒド（0.08 ppm以上）、トルエン（0.07 ppm以上）は基準値より上昇し、臨床的に頭痛、吐き気、めまい、肩、手を中心とする筋肉痛、時に手、指先のしびれ感があり、全身の疲れ、集中力困難があった。これら症状は1日4時間以上のVDT業務で強度の眼精疲労が出現し、瞬目過多を訴え業務が出来ず職場を休む時もあったという。現在ドライアイ、眼精疲労の訴えで近くの眼科に通院加療を受けている例もあった。

III. 研究結果

正常典型例の測定結果を記す。図1は25歳男子 control の測定結果である。上から指標 (Target), 右及び左の瞳孔反応 (Pupil) 及び眼球運動 (Eye Movement) 右及び左を示す。この症例では調節刺激は眼前 7.0 cm から 50 cm の間を3往復させ測定が行われている。左右の瞳孔は揃って指標が近付くと縮瞳し (下向き), 遠ざかると上向きのカーブを描いている。眼球運動は右左指標及び瞳孔の動きとバランスしながら輻湊・開散運動が得られている。縦の細い線は本検査中に見られる瞬目 (16回) を示す。この例の気中濃度は基準値以内であった。

この症例 (図2) は SHS, VDT 症候群が疑われた。ホルムアルデヒドの値が夏の測定時には,

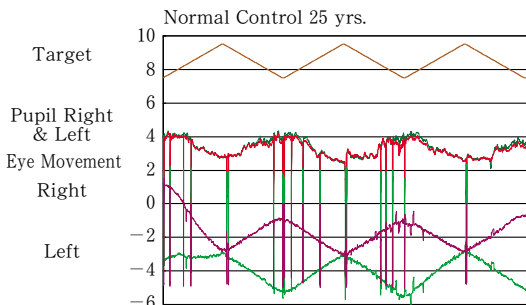


図1 トライイリスで測定した正常者の波形 (25歳男性)
上から指標 (遠方→近方→遠方…) 左右瞳孔反応: 縮瞳及び散瞳, 眼球運動: 輻湊及び開散

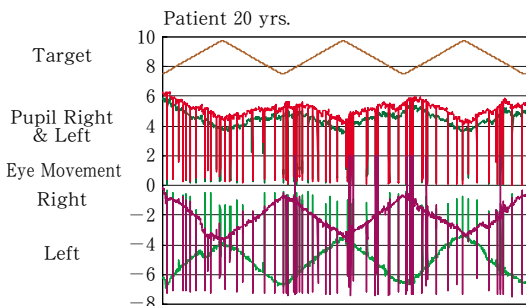


図2 VDT 症候群と SHS 症候群の合併が示唆される症例 (20歳女性)

気中濃度 (ホルムアルデヒド, トルエン) が基準値以上であった時の所見
瞬目極めて多し, 瞳孔反応も小さい。

基準値の約 2.0 倍以上でトルエンも 1.5 倍以上を示した症例で床のシロアリ対策も行われている家に居住していた。その後 SHS を発症したので, 徹底した換気, 改築等の対策を秋期にとったため冬期にはほとんどホルムアルデヒド, トルエンが基準値以下に低下した症例の検査結果である。本人は Computer プログラマーを志向している。血液のとくに血球コリンエステラーゼ値も低下していた症例である。図2に示すように夏の測定では極めて瞬目が多く同じ調節刺激を与えても瞳孔反応の縮瞳振幅が小さい (縮瞳率 34%)。輻湊開散反応は正常に認められるので瞳孔を中心とする副交感神経系の自律神経障害であることがわかった。Computer 業務は, 毎日数時間多忙時は 10 時間以上行っていた。そのあと同様の測定を試みたが, 瞬目が多く (58 回以上) で時には, 検査不可能の時もあった。図3は種々なる室内対策を打ち, 冬期症状が改善された室内条件のもとに測定された結果でほぼ正常に近い反応が記録されている。瞬目も (21 回) に減少した (縮瞳率 43%)。図2及び3を比較すれば明らかなようにほとんど正常と区別出来ないカーブに戻っている。

このように波形特に調節性縮瞳が VDT と SHS 症候群の両方を有すると考えられた3症例の変化はかなり強いと考えられた。以下3回の縮瞳率を平均し%で表し, 図表にプロットし一部平岡氏らが計測した正常者と比較した。その結果を図4に示した。縮瞳率を (3 回平均) 縦軸に%でとり, 横軸に年齢を示した。各年齢ごとに 11~13 名の正常者を測定し縮瞳率の年齢別カーブを

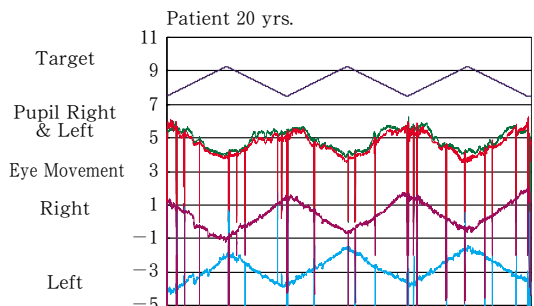


図3 同じ症例の室内対策後の所見 (気中濃度改善後の所見)

瞬目極端に減少, 瞳孔, 輻湊反応 殆ど正常化

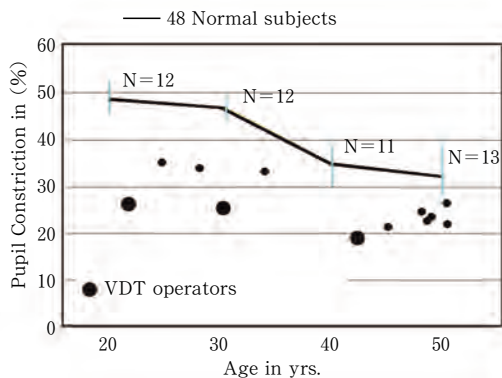


図4 正常者の年齢別縮瞳率折れ線グラフと VDT 症候群を疑う被験者の縮瞳率

小さい黒丸：VDT 症候群の疑い
 大きな黒丸：VDT 症候群と、シックハウス症候群合併が考えられた 3 症例、縮瞳率の著明な低下あり。

示した。縦線は平均値及び標準偏差を示している。図中大きな丸 (●) はシックハウスまたはシックビルディングに住み VDT 症候群が考えられた症例の瞳孔縮瞳率である。図中小さな (●) は VDT 症候群のみが疑われた例である。縮瞳率は年齢により正常者でも約 48%~約 32%まで低下するが VDT 症候群を合併する症例では、27%~約 19%まで低下し VDT 症候群のみの症例に比して、この差は有意な低下であった ($P < 0.01$)。

以上をまとめて模式的に示したものが図 5 右、左、である。本報告書の有機リンの Review で別に文献とともに記したが、我々の日常オフィス内では多種類の化学物質に囲まれて生活している。その中には建築と関連する室内汚染物質、什器よりの汚染物質、電子部品よりの汚染物質さらに難燃剤からの汚染物質などさまざまなものがある。これら物質が同一の部屋で多数同時に用いられると個々には極めて微量な物質しか発生させない機器でも多数の機器が同時に使用される職場環境の場合、室内の汚染レベルは必然的に上昇する。図左。最近欧州で燐酸トリエステルなどを問題とし始めたのはこのためである。これらの人体毒性は Triorthocresyl Phosphate (TOCP) 以外その詳細は不明である。最近盛んに研究されている様に、有機リンは Acetylcholine esterase 抑制以外に FAAH (Fatty acid amido hydrolase) の

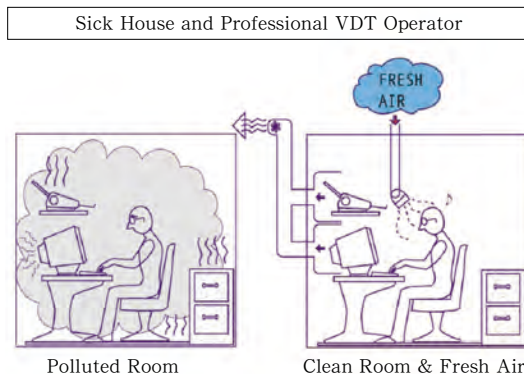


図5 シックハウスと VDT 業務の空気汚染の模式図

左：機器の使用と空気の汚れの可能性
 右：外部からの新鮮空気の導入と能率の上昇
 デンマーク工科大学での対策

抑制や、セロトニンなどの脳内伝達物質を抑制または、変調させる作用を有することが解ってきた。慢性かつ微量な接触で特に小児に何等かの神経毒性を発現させる可能性が考えられる。

その対策としては、それらの職場では、広く窓を開けるか、換気を十分に必要がある。図 5 右に示すように過敏性反応を有する患者の産業能率を向上させるためにデンマーク工科大学で行われているように外部からのフレッシュエアーをオペレーターに常時吸引させながら computer 業務を行うと産業能率が上昇し、企業収益が上がる可能性がある指摘している。日本でもそろそろ、その時期に来ているかもしれない。

IV. 考 察

近年 VDT 症候群、シックハウス症候群の研究は日本でもかなり進歩してきた。同時に IT 関連技術・機器の進歩も目覚ましくそれらによる健康影響も懸念されるようになってきた。コンピュータの出現と共に我々は新たな時代に入り、種々なる現代病と向き合うこととなった。

コンピュータ画面を見続けることにより生ずる VDT 症候群では、眼が 1 極集中し最も負荷の大きな器官となっているが、それを通じて種々な全身症状が出現する。それらは手先のしびれ、こぼり肩の痛みなどの頸肩腕症候群、胃のもたれ、胃液の逆流、下痢などの消化器系異常、循環器症状である胸部圧迫感、どうき、さらに精神神経症

状として対人の不安，抑うつ，集中力困難（テクノストレス症候群）などの症状も出現する。眼症状としてはドライアイ，涙液分泌低下，眼痛，角膜障害，眼圧上昇などの症状も報告されている。

一般臨床家は第一線でこれら患者と接することとなる。コンピュータ関連の疾患名も VDT 症候群，テクノストレス症候群，IT 症候群などと機器進歩と共に病名変化が見られる。シックビルディング症候群にはじまりシックハウス症候群，化学物質過敏症，低用量化学物質過敏反応云々と病名が次々と変化して行くのも現代疾患の 1 つの傾向を示しているかもしれない。

V. 結 論

新しく開発された調節刺激による瞳孔反応及び輻湊，開散を測定出来る機器を利用して VDT 症候群を有する症例，さらにシックハウス症候群を同時に有する症例を検討し興味ある結果を得た。正常者では調節刺激による縮瞳率は年齢により減少するが 50 歳までは縮瞳率は約 48%～32% に分布した。これに反してシックハウス症候群合併をしている VDT 患者は縮瞳率がさらに減少し，その分布を 27%～19% に減少していた。輻湊は正常であったが眼瞼痙攣を思わせる波形が検出された。これらの結果を基に自律神経障害の可能性を考えた。

本研究は日本眼科医会 IT 研究班，厚生労働省科学研究費（H13～15 年度）の援助を受けた。ここに深謝する。

【参考文献】

- 1) VDT と眼；石川 哲：VDT 医学マニュアル：26-34，金原出版，石川 哲編集，1989.
- 2) 石川 均，陶山秀夫，石川 哲ほか：白内障手術前後の近見時眼球運動，瞳孔反応，立体視。眼科手術 17：89-92，2004.
- 3) 土屋邦彦，青木 繁，石川 哲ほか：VDT 作業者の近見反応における自律神経機能について。日本の眼科 63：508-511，1992.
- 4) 中村芳子，近江源次郎，木下茂：VDT 作業者にみられる調節・瞳孔異常について。眼紀 42：1273-1278，1991.
- 5) Ishikawa, S: Examination of the near triad in VDU (Visual Display Unit) operators. Ergonomics (England) 33：787-798，1990.
- 6) 小嶋良宏，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.
- 7) Kilburn, KH: Chemical Brain Injury, van Nostrand Reinhold, New York, 1998.
- 8) Weiss, B, et al: Neurotoxicity of the visual system. Raven Press, 1980.
- 9) Weiss, B: Pediatrics (American Academy) April 22, 2004: Warns of neurological effects of pesticides on children (beyond pesticides)

室内空気汚染と関連するとされる有機リン化合物

石川 哲・坂部 貢・宮田 幹夫

(北里研究所病院臨床環境医学センター)

〔研究要旨〕

本論文の主要目的は、IT 眼症に関連する化学物質がいかなるものが生体に良くない作用を有するかにつき紹介する。その基本的研究は厚生労働省の科学研究費により行われている「シックハウス症候群 (SHS) の病態解明の研究」にある。これは、低容量環境化学物質の生体への反応をいかにして最先端医学、工学 (建築・化学分野)、疫学等多領域研究者と共同補助をとりつつ研究しこの難問を解決するかにある。

現在までホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、などに関しては既に多くの研究と対策がなされ患者も減少傾向である、しかし規制された殺虫剤クロルピリフォス、その他の各種有機リン剤および、プラスチック製品の可塑性剤などとして使用される「リン酸トリエステル」による疾患などの対策は未だ全くとられていない。

石川らはギリシャで開かれた第 25 回国際瞳孔学会で視覚端末装置を職業的に使用している従業員 (VDT オペレーター) にみられる、VDT 症候群 (眼精疲労、頸肩腕症候群、精神心理学的異常) が日本で再び増加傾向がある事を報告した。これに対して各国から追加意見があり特に北欧のグループから「従来安全であると考えられたコンピュータ機器、モニター機器、その他オフィスで使われているある種のプリンター、コピー機等の電子機器、室内の建築材料として使用されている各種物質から、リン酸トリエステルを含む有機リン剤がかなり大量に放出されていることにも注意を払うべきだ」という指摘を受けた。そして眼の生理機能瞳孔反応などが変調する可能性がありうる。」という意見が出

た石川に意見を求められた。その理由の 1 つとして広い部屋で少数の機器が置いてある場合、一切レベル的には問題はない。しかし、多数の機器がひしめき合っているオフィスは注意を要し、健康について考えると共に、換気についても特段の配慮が必要であるとの事であった。これら研究は、北欧で盛んに行われ最近ドイツでも研究が行われているとのことであった。後述する TBP, TBEP, TEHP, TPP, TCP, TCEP, TDCPP 等が IT 機器からも一部検出され、その対策の必要性を強調している。それは、ドイツの Fraunhofer-Institute, 英国でも同様である。IT 研究者とシックハウス症候群研究者の注意を喚起するために、日本で余り知られていない室内空気と有機リン化合物の海外での測定データをここに紹介する。これら低用量化学物質の研究が最も進んでいる国は、EC 共和国：スウェーデン、デンマークが中心である。EU では生体影響があると考えられる約 3 万種類の化学物質を対象に REACH: Registration Evaluation and Authorization of Chemicals 法が 2005-2012 年にかけて施行され、化学物質の規制強化 (利用企業の報告対策の義務付け、安全データ報告の義務付け) が行われることに決定した。これら情報は我々日本人も熟知しておかねばならない。

これを機会に著者が 1970 年代から主張している有機リン剤と室内環境汚染問題について関心を拡大し興味を持って頂くことを期待する。加えて、最近の有機リン剤による慢性神経毒性について海外での重要文献のごく一部を紹介した。

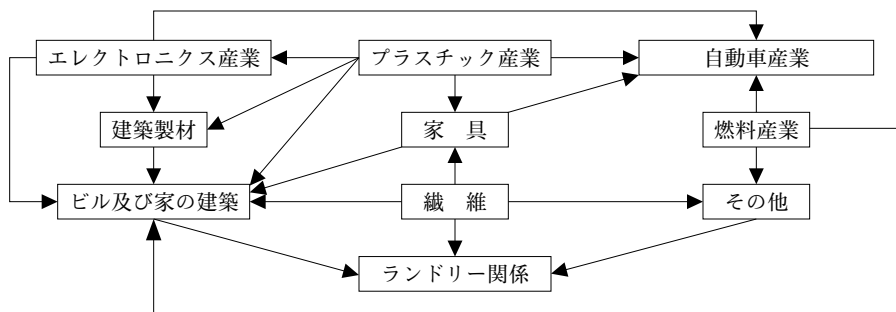
今回参考にした主要なる論文は、Marklund A, Andersson B. Haglund, P: Chemosphere 53: 1137-1146, 2003. Screening of organophosphorus compounds and their distribution in various indoor environments, 「有機リン化合物のスクリーニングと種々なる室内環境での分布状況」ウメア大学化学部門, 環境化学教室 スウェーデンである。以下重要と思われる内容の一部を簡単に紹介する。

一般のビルディングにおいてはプラスチック素材, 木材, じゅうたん, 壁の被服物や関連する繊維素材が, 火災の場合炎を出す根源として恐れられている。発火を出来るだけ防止するために難燃剤が開発され火事の際, 火のまわりを遅延させ避難が出来るよう処置がとられている。1998 年から有機塩素剤または有機リン剤の西ヨーロッパ全体の消費量は 29,500 t を超えると推定されている。難燃剤のうち有機リン酸エステルによるものが最も一般に用いられている。日本でも 17,000 トン以上生産されているという。リン酸エステル化合物等はビニール製品の添加物として使用され, 原材料に混ぜて使われている。とくにプラスチック剤, 繊維類及びビル建築材料に多く用いられている。難燃剤以外には可塑剤, 安定剤, 発泡防止剤, 湿潤剤, 潤滑剤として用いられる。これら大量使用により最近では蒸発, しみ出る, 侵蝕する等が問題になり環境汚染問題でも重要な点である。とくに長期にわたる, 侵蝕問題が深刻であるとされている。これら物質は広範囲に現代社会では使用されている。以下その使用例(下図)を示す。この中でも有機リン剤はポリビニールクロライ

ド, ポリウレタンフォークス, レジンその他に含まれている。汚物, 排出物が多い病院のマットレスや壁, 床や刑務所の寝床などは TDCPP (Tris (1,3-dichloro-2-propyl) phosphate) が使われている。TPP (Triphenyl phosphate) は PVC (Polyvinylchlorid) に使われ可塑剤や電線水道管にも一部使われている。

TEHP (Tris (2-ethyl) phosphate), TBEP (Tris (2-vutoxy-ethyl) phosphate) は難燃剤として用いられまた TBEP は床ワックス剤として用いられる。

人体・動物毒性: これら広範囲の有機リン剤の使用にも関わらず人間への影響または作用とくに生理学的影響についてはほとんど世界に研究がない。しかし現在得られている知見を紹介すると, TDCPP は人間の皮膚から吸収されていることが知られている。小さな子供はおしゃぶり等で経口的摂取も考えられる。1991 年から 2000 年までの医学と関係する報告では, TBEP, TCPP (Tris (chloropropyl) phosphate), TEHP は皮膚に刺激を起こすことが知られている。また TCEP (Tris (2-chloro-ethyl) phosphate) はラット, マウスに発ガン性及び催奇性がある。TPP も同様に皮膚炎をおこし, 重要なことは生体の重要な酵素カルボキシルエステラーゼの強力な抑制剤であり種々なる不定愁訴の原因となり得る。TPP, TCEP などは, 溶血作用があり更に, TBEP, TDCPP は人間の脂肪組織に蓄積する。とくに TDCPP は人間の精液に含まれその障害を起こす可能性がある。今回以下紹介する事実はこれらの物質の室内生活環境での値を調べることにより今



有機リン製材の使用範囲

後の参考にしたいと考えた。その研究にはスウェーデン政府の EPA (Environmental Protection Agency) の協力で行なわれた。その中心は室内の埃が調べられ掃除機のダストパックから集めたダストの分析を行った。Computer 画面と機器はバキュームで表面から吸い込んだゴミを測定した。この単位は mg/m^2 である。

結 果

前述の如く、12 種類の有機リン化合物 (可塑剤としてまたは難燃剤として現在使用されているもの) を対象としてハウスダストにおける残留量が測定された。12 のうち 7 種類の有機磷はスウェーデンで使われている輸入品でそのうちの 6 つは EU 連合では最も生産量の高いものである。2-ブトキシエチルリン酸は多くのサンプルの中で豊富に検出された物質であり、そのレベルは $0.014\sim 5.3 \text{ g}/\text{kg}$ であった。続いてクロロエチル、クロロプロフィル 1,3-ジクロロプロピル 3 リン酸が検出された。コンピュータ画面からはトリフェニールリン酸が主なもので $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 検出され、床ワックス剤、ポリビニールクロライド使用の床材、室内装飾品 (じゅうたん、カーテン、クッション、椅子貼り用品) などでありプラスチック製材が多い。有機リン剤の分布は場所によってそれぞれ異なった。しかし一般的には室内装飾品が多く使われている所の付近が多かった。

室内で現在用いられている建築材料からはほとんどのものから有機リン群が検出される。例えば PVC でカバーされた床、床用ワックスなどからは TBEP が室内ゴミとして検出され恐らく天井材料からは TCEP が出てくると思われる。TDCPP は室内装飾品から検出される。公的なビルからは普通の家よりも 10 倍位高い濃度の TBEP が検出される。今回得られた TBEP, TCEP, TCPP の結果は過去に行われた同種の研究結果とよく一致している。今回のサンプルから得られた結果は室内の汚染物質の放射をよく示していると考えられる。しかし換気、埃粒子の空中飛散は室内のクリーニングや換気ファンによっても大いに影響され他の部屋にも影響が与えられることが考えられる。集められた埃の中における高

いレベルの有機リン群は必ずしも室内汚染とイコールではないという意見もある。なぜなら今回のような揮発性の低いものは、低蒸気圧に影響される可能性があるからである。しかし今回のデータは以前他施設で報告されたデータとよく一致している。恐らく高い値は室内の高い汚染を示していると考えて良いと考える。

今回の結果を全体の人間影響として考える場合、皮膚を通じて入っていく (この際涙液に溶けて、角膜表面から吸収されるものもある) 場合と呼吸を通じて摂取される 2 つのメインルートがあると考えられている。吸入の場合はガス化している OP の濃度に依存する。そして空気中におけるエアロゾル状態とも関係する。今後エアサンプルでさらに研究をすすめると共に人体をふくめて曝露実験をさらに行う必要がある。

詳しい眼機能の検査の必要性

これらの影響をいち早く所見として出す生理学的パラメーターは Ripps, H, Siegell, Breinin, G, Ishikawa S (Neurotoxicity of the visual system, Raven Press, New York, 1980) らが過去に米国で報告した如く、OP は過去に点眼薬 (DFP, Paraoxon, Phospholine iodide) としてごく微量が調節性内斜視、緑内障治療に使われ、その人体影響が詳細に検討されているからである。OP の早期の影響は先ず、眼の輻輳、調節、瞳孔変化が中心である。調節系の facilitation, 調節性輻輳つまり、AC/A 比 (Accommodative Convergence/Accommodation) の変動が早期変化を捉える最もすぐれた指標となる。調節安静位の緊張性の増加、AC/A の一過性増加とその後の低下が重要である。今後これらの Index を中心に研究すれば、OP の全身影響はさらに高度のレベルで検索する事が可能である。

今後、必要な研究領域を以下に挙げる。

1. 室内環境汚染物質についての、ガイドラインの数の増加
2. 新しい簡易、正確な測定法の開発
3. 放散の極めて少ない安全な新物質の開発
4. 現在余り注目されていない建材の測定と評価

表 1

サンプル採取場所	その性状
家 1	PVC で床がカバーされている
家 2	PVC で床がカバーされている
デイケアセンター（老人ホーム）	PVC で床がカバーされている
病院 病室	PVC で床がカバーされている
病院 診察室	オフィスとスタッフルームそれらは PVC で床がカバーされている
家電販売店	タイル床一部が PVC
繊維製品 じゅうたん販売店	店の床剤 一部タイル
ホテル	一部木製, リノリウム, じゅうたん
刑務所	独房と廊下はリノリウム床
大学ロビー	廊下とソファ
一般オフィス	代表的な 3 室, リノリウム床
図書館	本と本棚
飛行機内	機内・客室
映画館	サロン, じゅうたん
ダンスホール	木材の床, 年 4 回ワックスをかけている
コンピュータ スクリーン	1 m ²
コンピュータ カバー	1 m ²

5. これら物質による生体反応の診断技術の開発, 研究の促進

表 1, 表 2 に再び Maruklund, A らのデータを示す。

ま と め

ここで紹介した論文はダスト中の OP が空気中に必ずしも高い濃度で含まれているという意味ではない。なぜならば低い蒸気圧の物質が多いからである。しかし微量でもそれが発生する数が増加すれば, 必然的に有機リンの室内の気中濃度も高くなるので注意が必要である。人体では, 前述の如く呼吸を介する場合が最も多く, 経皮膚, 経角膜・涙などを介して進入するルートも考えられる。呼吸を介する場合は, 気中のガス化した OP が最重要であるが, ダストやエアロゾルも影響する。これらの毒性学的研究については将来の研究を待

たねばならない。

神経, 感覚器, 精神神経・社会医学的問題に関する有機リン慢性毒性文献

日本では有機リンの慢性毒性は世界に先駆けて感覚器である眼を中心にその詳細が記載された。その内容は文献 4) に Dementi が「佐久眼病」として国際中毒雑誌に紹介している。以後しばらくの間は研究が少なかったが (1970~1980 年), 1990 年代から神経毒性について, 特に慢性例の報告が次々となされ今日に至っている。

今回ここに紹介する文献は厳しい査読を経て国際誌に採用されている論文群である。有機リンはそもそも神経ガス (サリン, ソマン, タブン等) として人体殺害用に用いられたことから急性中毒があまりに強く紹介されたため慢性毒性に対する配慮が全くなされなかったことは周知の事実であ

表2 検出された室内有機リン化合物

サンプル採取場所	(mg/kg)					
	TBEP	TCEP	TCPP	TDCPP	TPP	TEHP
家1	25.0	0.27	0.47	0.39	0.85	0.07
家2	18.0	0.19	0.93	1.10	0.99	0.06
Day care center	31.0	0.82	2.50	1.80	4.50	0.13
病院 病室	210.0	3.80	2.30	2.10	2.00	0.18
病院 診察室	120.0	1.00	5.30	0.56	2.20	0.16
家電販売店	14.0	1.40	2.30	0.59	0.93	0.14
繊維じゅうたん等	31.0	0.37	1.40	0.20	3.10	0.22
ホテル	42.0	3.90	8.90	0.91	107.00	0.22
刑務所	5300.0	8.20	8.90	53.00	110.00	13.00
大学ロビー	50.0	1.60	50.00	5.70	4.90	0.39
一般オフィス	270.0	48.0	73.00	67.00	6.80	0.43
図書館	16.0	94.0	2.90	0.84	24.00	0.09
飛行機内	18.0	4.20	2.20	0.86	4.40	0.14
映画館	21.0	0.85	2.40	7.00	1.10	0.11
ダンスホール	120.0	1.00	1.50	1.10	3.30	0.19
PC スクリーン	940.0	220.00	370.00	290.00	3300.00	0.05 以下 (ng/m ²)
PC カバー	70.0	210.00	220.00	170.00	4000.00	0.05 以下 (ng/m ²)

る。しかし今回文献 4), 7), 9) 等に示すように感覚器を中心とする精神心理学的な検査法の導入で有機リン慢性毒性による身体異常（過敏性反応を含む）及び神経、感覚、精神系の異常が次々と明らかになった。そして診断法も生理学、画像診断学、遺伝学、免疫学の面で格段に進歩してきた。

今回の研究班による研究では有機リン剤のシックハウス関連研究に関してはやっとスタートしたばかりである。未だ基本的なデータ揃えに平成15年度は終始した。今年度以後、研究費の援助があればさらに神経系を中心に研究が進んで行くと思われる。いずれにしろ、フォルムアルデヒドによる過敏反応患者が明らかに減少しているし恐らくトルエン、パラジクロロベンゼン等も今後対策の強化と共に更に減少する。

最後に残るのは初期に、過敏反応を一番起こしやすくしかも神経症状を出しやすい物質の代表は、有機リン剤に他ならない。これはクロルピリフォスが米国で規制されたのは過敏症患者が多発したことによる。

今回、石川の別の論文にも記した如く、今後医師、パラメディカル、建築学の教育でも有機リンに基づく神経毒性の研究を地道に推進しなければならない。ひいては、シックハウス症候群、化学物質過敏症患者の対策としても今後最も重要な物質であると我々のみならず先進国の研究者達はそれを強く認識しているからである。

[文 献]

眼症を中心とした文献

- 1) Ishikawa, S and Miyata, M: Development of myopia following chronic organophosphate pesticide intoxication: an epidemiological and experimental study. Neurotoxicity of the visual system. Ed. by Merigan, WH and Weiss, B. Raven Press, New York 1980.
- 2) Ishikawa, S, Tsuchiya, K, Otsuka, N and Ukai, K: Development of myopia due to environmental problems – a possible interaction of anticholinesterase compounds examined by accommodative adaptation. Proceedings of the Hoya Vision Care. The vision care: 108–111, presented at 1st International Conference, Tokyo, 1998.
- 3) 石川 哲：環境汚染物質などによる眼症，特に有機リン剤の視覚毒性について。日眼会誌 100：417–432, 1996.
- 4) Dementi B: Ocular effects of organophosphates: a historical perspective of Saku disease. J of Applied Toxicology 14(2)：119–129, 1994.

過敏症状を中心とした文献

- 5) Eriksson P, Talts U: Neonatal exposure to neurotoxic pesticides increases adult susceptibility: a review of current findings. Neurotoxicology 21：37–38, 2000.
- 6) Colosio C, Tiramani M, Maroni M: Neurobehavioral effects of pesticides: state of the art.

Neurotoxicology 24：577–591, 2003.

自律神経，末梢神経検査，心理（特に視覚系関与）
テストの重要性指摘文献等

- 7) Ruijten MW, Salle HJ, Verberk MM, Smink M: Effect of chronic mixed pesticide exposure on peripheral and autonomic nerve function. Arch Environ Health 49：188–195, 1994.
- 8) London L, Nell V, Thompson ML, Myers JE: Effects of long-term Organophosphate exposures on neurological symptoms, vibration sense and tremor among South African farm workers. Scand J Work Environ Health 24：18–29, 1998.
- 9) McConnell R, Keifer M, Rosenstock L: Elevated quantitative vibrotactile threshold among workers previously poisoned with methamidophos and other Organophosphate pesticides. Am J Ind Med 25：325–334, 1994.
- 10) McGuire V, Longstreth WT Jr., Nelson LM, Koepsell TD, Checkoway H, Morgan MS, van Belle G: Occupational exposures and amyotrophic lateral sclerosis. A population-based case-control study. Am J Epidemiol 145：1076–1088, 1997.
- 11) Misra UK, Prasad M, Pandey CM: A study of cognitive functions and event related potentials following Organophosphate exposure. Electromyography and Clin Neurophysiology 34：197–203, 1994.

職域の VDT (Visual display terminals) 作業従事者 におけるドライアイの疫学的検討

横井 則彦・木下 茂

(京都府立医科大学眼科)

坪田 一男

(慶応大学眼科)

堀口 俊一・日野 孝

(日本予防医学協会)

I. 研究の背景

21世紀は、IT (Information technology) 時代といわれ、職域においても、家庭においてもディスプレイを前に眼を酷使用する人が急速に増加している。このような時代背景のもとに、VDT (Visual display terminals) 眼症、あるいは、テクノストレス眼症と呼ばれてきた眼疲労や眼精疲労以外に、ディスプレイの注視による瞬目不全に基づくと考えられるドライアイが目目されてきている。そして、このような、IT時代のVDT作業に関連した、眼精疲労およびドライアイは、あわせてIT眼症と呼ばれるようになってきた¹⁾。

最近の考え方では、ドライアイは、涙液減少型と蒸発亢進型²⁾に分けられるが、IT眼症に関連するドライアイは、ディスプレイの注視による瞬目減少に関連して発症すると考えられるため、蒸発亢進型のドライアイが多くを占めている可能性がある。また、最近、急増しているコンタクトレンズ (Contact lens : CL) の装用者は、1300万人に達するとも言われ、CL装用もまた、蒸発亢進型ドライアイの原因となっている可能性がある。

そこで、本研究では、オフィスのVDT作業従事者におけるドライアイの実態を大規模に調査し、疫学的立場から検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、2000年11月から2001年8月までの間に大阪、兵庫、東京 (第1次調査: 1025名) において、および、2001年11月から2002年2月までの間に大阪 (第2次調査: 190名) において、(財)日本予防医学協会の実施したVDT検診を受診し、かつ、本調査への参加の同意を得た被験者、合計1215名 (男性: 639名; 女性: 576名) であり、年齢は、19~73歳 [欠落があり1209名で36.0 (平均値) ±9.8 (標準偏差) 歳] であった。

2. 検査

(財)日本予防医学協会の実施したVDT検診を終えたのち、アンケート調査、眼科的検査を行った。

1) アンケート調査

アンケート調査では、CL装用の有無、VDT作業時間、各種の眼の症状 (重症度に応じて4段階で評価) について記載させた。

2) 眼科的検査

CL装用者では、レンズをはずして、10分以上経過ののち、ドライアイの検査を行った。ドライアイの検査としては、フルオレセイン BUT (breakup time) の測定、角膜上皮障害の重症度

分類（宮田らの AD 分類：A：範囲；D：密度）を用いて、A、D それぞれでスコア化し、最後に、10 分以上時間をおいて、シルマーテスト I 法（ST）を実施した。

また、第 2 次調査の 191 名においては、ST の前に、マイボーム腺の検査を実施した。マイボーム腺の検査は、両眼の上眼瞼の外側、中間、内側の 3 ヶ所、計 6 ヶ所を親指で圧迫して、マイボーム腺の脂質の圧出量と圧出油の性状のそれぞれをスコア化して評価した。すなわち、量スコアとしては、正常量分泌された場合は、スコア 0、正常より少ない、あるいは、多い場合は、スコア 1、全く圧出されない場合をスコア 2 とした。また、圧出油の質のスコアとしては、透明（顆粒を含むことあり）の場合をスコア 0、不透明だが粘稠でない場合をスコア 1、不透明で粘稠の場合をスコア 2、かなり粘稠（練り歯磨き様）の場合をスコア 3 とした。以上のスコアを両眼 6 ヶ所で求めて評価した。

さらに、第 2 次調査の中の 143 名においては、メニスコメトリー法³⁾を用いて、下眼瞼中央の涙液メニスカスの曲率半径（mm）を測定し、涙液貯留量を評価した。

3) ドライアイ診断基準

本邦のドライアイの診断基準（ドライアイ研究会、1995 年）に準拠して、涙液の異常（BUT ≤ 5 秒、または、ST ≤ 5 mm）、かつ、角膜上皮障害 ≥ A1D1 をドライアイの確定眼、涙液の異常（BUT ≤ 5 秒、または、ST ≤ 5 mm）、あるいは、角膜上皮障害 ≥ A1D1 のいずれか一方のあるものをドライアイの疑い眼、いずれの異常も認めないものをドライアイなし（正常眼）とし、少なくとも 1 眼がドライアイの確定眼であるものをドライアイ確定例、少なくとも 1 眼がドライアイ疑い眼であるものをドライアイ疑い例、両眼ともドライアイのないものをドライアイなし（正常者）と定義した。

III. 結 果

1. ドライアイ診断結果（図 1）

1215 名（2430 眼）の解析結果から、職域の VDT 作業従事者におけるドライアイが高頻度であるこ

と（約 3 人に 1 人）が、明らかにされた。

2. ドライアイ確定眼における角膜上皮障害

（図 2）

ドライアイ確定眼における角膜上皮障害は、A1D1 が、76.4% を占め、ドライアイは比較的軽症と考えられた。

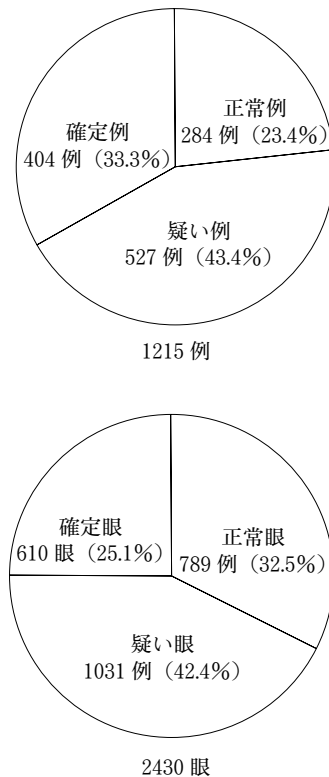


図 1 ドライアイ診断結果（全体）

D \ A	0	1	2	3	合計
0	0 0%	0 0%	0 0%	0 0%	0
1	0 0%	466 76.4%	49 8.0%	6 1.0%	521
2	0 0%	56 9.2%	15 2.5%	4 0.7%	75
3	0 0%	7 1.2%	4 0.7%	3 0.5%	14
合計	0	529	68	13	610

図 2 ドライアイ確定眼における角膜上皮障害

3. ドライアイの確定眼における涙液検査

(図 3)

ドライアイ確定眼における涙液検査では、ST に異常がなく、BUT に異常を認める例が、86.1%を占めたことから、VDT 作業従事者におけるドライアイは、大半が蒸発亢進型と考えられた。

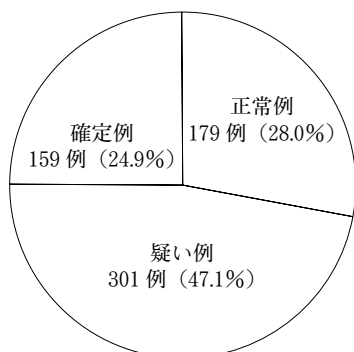
4. ドライアイの診断における性別の影響

(図 4)

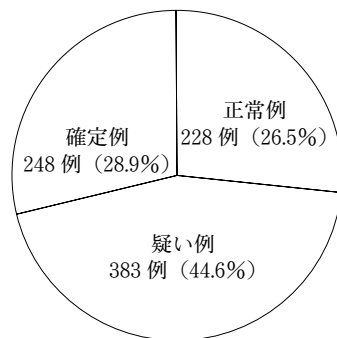
1215 名を男・女に分けて、ドライアイの診断との関係を検討すると、女性に有意にドライアイ

ST \ BUT	5 秒以下	6 秒以上	合 計
5 mm 以下	52 8.5%	33 5.4%	85
6 mm 以上	525 86.1%	0 0%	525
合 計	577	33	610

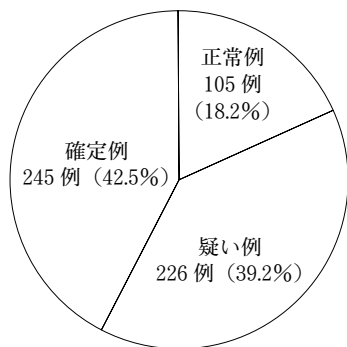
図 3 ドライアイ確定眼における涙液検査



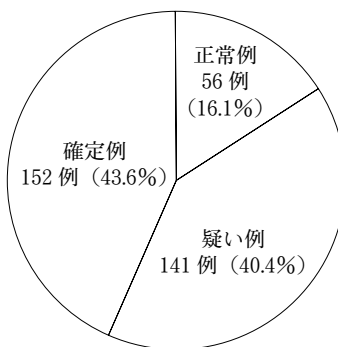
男性 (639 例)



CL 装用なし (859 例)



女性 (576 例)



CL 装用あり (349 例)

図 4 ドライアイ診断結果 (性別の影響)

図 5 ドライアイ診断結果 (CL 装用の影響)

の確定例が多いことが明らかになった ($p=0.001$ カイ 2 乗検定)。

5. ドライアイの診断における CL 装用の影響

(図 5)

1208 例 (1215 例のうち、7 例は CL の記載なし) において、CL 装用の有無とドライアイの診断について検討すると、CL 装用眼に有意にドライアイの確定例が多いことが明らかになった ($p=0.001$ カイ 2 乗検定)。

6. ドライアイの診断における VDT 作業時間の影響

(図 6)

VDT 作業時間の記載のあった例を対象に、ドライアイ診断と VDT 作業時間の関係について検討したが、予想に反して有意な関連は認められなかった (一元配置分散分析)。しかし、この結果については、今回の検査が、VDT 作業後に行われたものではなく、VDT 作業の途中に行われたという調査の限界とも関係があると考えられる。

7. 問診項目の解析結果 (図7)

眼の症状とドライアイの診断との関連では、ドライアイの確定例に有意に強かった症状は、「目が乾いた感じがする」、「涙がでる」、「目が赤い、充血している」であった (Kruskal-Wallis 検定)。

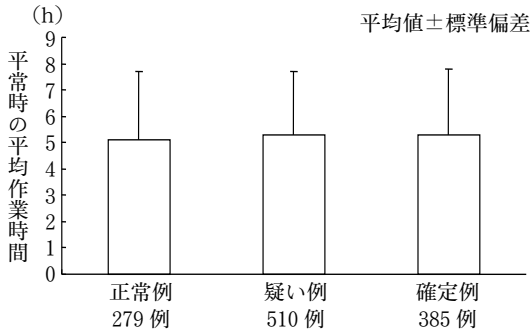


図6 ドライアイ診断結果 (VDT 作業時間の影響)

項目	P 値
目が疲れる	0.887
目やにが出る	0.121
目がごろごろする	0.051
重たい感じがする	0.602
目がヒリヒリする	0.327
目が乾いた感じがする	0.000
まばたきが多くなる	0.058
何となく目に不快感がある	0.546
まぶしい目を開けるのがつらい	0.712
涙がでる	0.019
目が痛い	0.516
目がかゆい	0.118
まぶたがピクピクする	0.503
目が赤い・充血している	0.001
視力が落ちた気がする	0.172
長時間パソコンやテレビの画面を見てられない	0.227
残像がのこる	0.967
目を開けてられないことがある	0.585
目がかすむ・ぼやける	0.683
目がショボショボする	0.746

図7 問診項目の解析結果

8. VDT 作業従事者におけるドライアイとマイボーム腺機能不全の関連の検討

1) 対象

データの欠測例があったため、189名 [男性：97名；女性：92名；年齢22~67歳：36.1 (平均値) ± 9.3 (標準偏差) 歳] が解析対象となった。前述のマイボーム腺の量スコアと粘稠度スコアについて、ドライアイ診断との関連について検討した。なお、欠測例のため、189名のうち、量スコアについて全例が、粘稠度スコアについては、163名が解析対象となった。

2) 結果

a. 正常例, ドライアイ疑い例, ドライアイ確定例におけるマイボーム腺の量スコアと粘稠度スコアの結果は以下のものであった (図8)。

正常例

量スコア (28例)

1.29 ± 1.96 (平均値 ± 標準偏差)

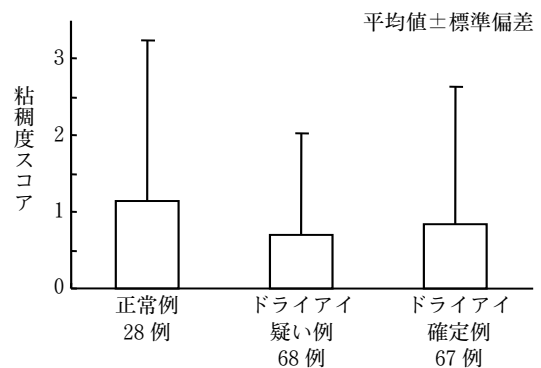
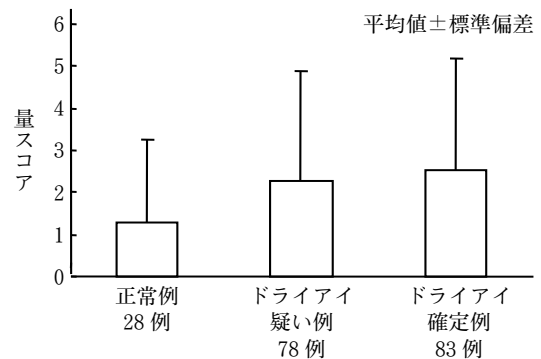
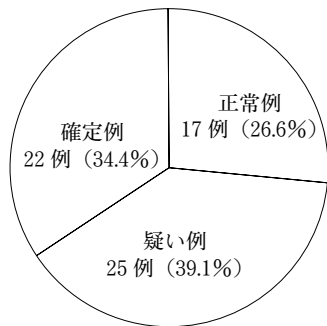


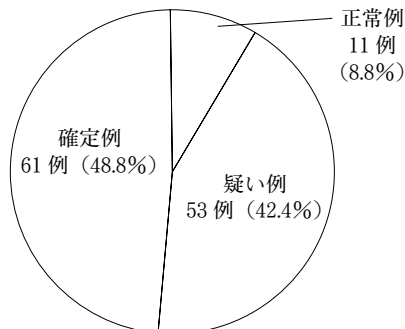
図8 正常例, ドライアイ疑い例, ドライアイ確定例におけるマイボーム腺の量スコアと粘稠度スコアの検討結果

粘調度スコア (28例)
 1.14±2.10
 ドライアイ疑い例
 量スコア (78例)
 2.26±2.61 (平均値±標準偏差)
 粘調度スコア (68例)
 0.71±1.32
 ドライアイ確定例
 量スコア (83例)
 2.53±2.66 (平均値±標準偏差)
 粘調度スコア (67例)
 0.85±1.78

これを統計学的に検討すると、粘調度スコアとドライアイの診断に有意な関連はなく、量スコアとドライアイの診断に有意な関連がみられた [量スコア：Kruskal-Wallis 検定 (p=0.025)；粘調度スコア：Kruskal-Wallis 検定 (p=0.993)]。そこで、以下の検討では、両眼6部位すべてのマイボーム腺の量スコアが正常の場合をマイボーム腺



マイボーム腺の正常例 (64例)



マイボーム腺の異常例 (125例)

図9 マイボーム腺の正常、異常とドライアイ診断の関連

の正常例、両眼6部位の少なくとも1つのマイボーム腺の量スコアが異常の場合をマイボーム腺の異常例と定義した。

b. マイボーム腺の正常、異常とドライアイ診断の関連 (量スコア採用例189名) (図9)

マイボーム腺の量スコアに異常のある例では、ドライアイの確定例が有意に多かった (p=0.004, カイ2乗検定)。

c. 性別とマイボーム腺の正常、異常との関連、あるいは、CL装用とマイボーム腺の正常、異常との関連 (共に、量スコア採用例189名) では、有意な関連が見られず [それぞれ、p=0.332 (カイ2乗検定), p=0.229 (カイ2乗検定)], マイボーム腺の異常は、CL装用とは、独立したリスクファクターと考えられた。

9. VDT 作業従事者におけるドライアイと涙液貯留量の関連の検討

1) 対象

ビデオメニスコメトリーを実施した、143名 (286眼) [男性：82名；女性：61名；年齢24～67歳：36.8 (平均値) ±9.3 (標準偏差) 歳] について検討した。

2) 結果

a. 涙液貯留量と男・女の関連では、男・女によるメニスカス曲率半径の差はなく (p=0.8935, t-検定), 涙液貯留量の性差はないと考えられた。また、涙液貯留量とCL装用の関連では、CL装用、非装用によるメニスカス曲率半径の差はなく (p=0.2594, t-検定), 涙液貯留量のCL装用、非装用による差はないと考えられた。

b. ドライアイ診断と涙液貯留量の関連 (図10) 正常例と、ドライアイの確定例、疑い例との間

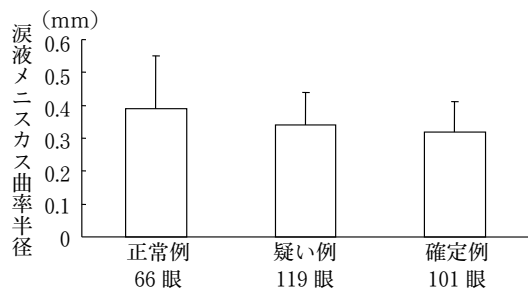


図10 ドライアイ診断と涙液貯留量の関連

にメニスカス曲率半径の有意な差が見られ [p=0.0005 (ANOVA 検定), Tukey の多重比較: 正常例 対 疑い例 p<0.05, 正常例 対 確定例 p<0.05], ドライアイの確定例では, 涙液貯留量が有意に少ないと考えられた。

IV. 考 察

今回の大規模の疫学的研究では, IT 時代の世相を反映し, 最もその影響を受けやすいと考えられる職域の VDT 作業従事者におけるドライアイの実態について, 調査, 解析を行った。今回の検討の特徴について列挙してみると, 比較的若い世代のドライアイ, とくに VDT 作業に関連して, 1) 働きざかりの調査の難しい年代を対象として詳細な検討を行ったこと, 2) 統一されたやり方で, ドライアイの検査を眼科医が行い, 明確な診断基準に基づいてドライアイの診断を行ったこと, 3) コ・メディカルでも実施可能な新しいスクリーニング法 (メニスコメトリー法) を行っていることが挙げられる。一方, これまでのドライアイの疫学的研究の既報^{4)~11)} を見てみると, まず, 明確なドライアイの診断基準をもってやっているものが少ないこと, 高齢者のドライアイが主に対象になっていること, シルマーテストの変法を採用しているものがほとんどであることが挙げられるが, ドライアイ発症のリスクファクターとしては, 今回, 明らかにされたものと同様のものが報告されている。今回の疫学的研究によって, IT 眼症としてのドライアイが高率に存在すること, そのタイプとして, 蒸発亢進型のドライアイが多いが, 上皮障害としては軽度であること, また, 有意な症状として, 眼が乾く, 涙が出る, 眼が赤いといった症状が明らかにされた。これらは, 今後のドライアイのスクリーニングを考える上での参考になる症状と思われる。さらに, ドライアイのリスクファクターとして, 女性, コンタクトレンズ装用, マイボーム腺機能不全, 涙液貯留量の減少があることが示された。これらのデータは, IT 眼症の 1 つとしての職域のドライアイの現状を考える上での重要な基礎データになったことは間違いないと思われるが, 今後, いかにして職域のドライアイ

を効果的にスクリーニングし, その指導をおこなってゆくか, また, ドライアイ発症の予防のために, いかにして VDT 作業環境の改善を考えてゆくかが, 当面の課題であると思われる。

【文 献】

- 1) 木下 茂: IT 眼症の捉え方. 日本の眼科 74 : 859-861, 2003.
- 2) 横井則彦: 蒸発亢進型ドライアイの原因とその対策. 日本の眼科 74 : 867-870, 2003.
- 3) Yokoi N, Bron AJ, Tiffany JM, Kinoshita S. Reflective meniscometry: A new field of dry eye assessment. *Cornea* 19 : S37-S43, 2000.
- 4) Ruprecht KW, Giere W, Wulle KG. Statistical contribution on symptomatic dry eye *Ophthalmologica*. 174 : 65-74, 1977.
- 5) Hikichi T, Yoshida A, Fukui Y, Hamano T, Ri M, Araki K, Horimoto K, Takamura E, Kitagawa K, Oyama M, Danjo Y, Kondo S, Fujishima H, Toda I, Tsubota K: Prevalence of dry eye in Japanese eye centers. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 233 : 555-558, 1995.
- 6) Shimmura S, Shimazaki J, Tsubota K: Results of a population-based questionnaire on the symptoms and lifestyles associated with dry eye. *Cornea* 18 : 408-411, 1999.
- 7) Schein OD, Tielsch JM, Munoz B, Bandeen-Roche K, West S: Relation between signs and symptoms of dry eye in the elderly. A population-based perspective. *Ophthalmology* 104 : 1395-1401, 1997.
- 8) Schein OD, Munoz B, Tielsch JM, Bandeen-Roche K, West S: Prevalence of dry eye among the elderly. *Am J Ophthalmol* 124 : 723-728, 1997.
- 9) McCarty CA, Bansal AK, Livingston PM, Stanislavsky YL, Taylor HR: The epidemiology of dry eye in Melbourne, Australia. *Ophthalmology* 105 : 1114-1119, 1998.
- 10) Caffery BE, Richter D, Simpson T, Fonn D, Doughty M, Gordon K: CANDEES. The Canadian Dry Eye Epidemiology Study. *Adv Exp Med Biol* 438 : 805-806, 1998.
- 11) Lin PY, Tsai SY, Cheng CY, Liu JH, Chou P, Hsu WM: Prevalence of dry eye among an elderly Chinese population in Taiwan: the Shihpai Eye Study. *Ophthalmology* 110 : 1096-1101, 2003.

IT 機器使用による調節機能変化の検討

梶田 雅義・篠原 眞美・鈴木 説子

(福島県立医科大学医学部眼科)

緒 言

IT 機器は小型軽量化が進み、携帯が容易になってきた。それに伴い、VDT (Video Display Terminal) 画面も小さくなった。表示される文字は小さくなり、画像は精細になってきている。それらの装置を操作するには、良好な近方視力が要求され、調節にかかる負担が大きくなると考えられる。しかし、調節機能を簡易に再現性良く評価できる装置はなく、IT 機器による調節機能の影響については十分に調査が行われていない。

私たちは、毛様体筋の緊張状態と調節微動の高周波成分の出現頻度にある種の相関があることに着目し、調節機能をリアルタイムで観察できる調節機能解析装置を開発した^{1)~5)}。今回は本装置を用いて、IT 機器の操作を行った前後に調節微動がどのように変化するのか、また本装置が短時間の IT 機器による調節機能への影響を十分に検出できるかについても検討をおこなったので報告する。

対象および方法

対象は事前に簡単な検査を行い、屈折異常の他には眼疾患を有さず、日常視で眼鏡装用を要しないこと、オートレフラクトメータを用いた他覚的屈折値で、屈折異常が軽度であること、および記録時に眼瞼や睫毛が測定結果に影響を及ぼさないことなどを条件として採用を決定した有償ボランティア女性 12 名、男性 4 名、計 16 名であった。対象の年齢は 22~28 歳に分布しており (図 1)、対象の等価球面屈折値は +0.25~-2.50 D に分布していた (図 2)。

調査は以下の手順で行った。

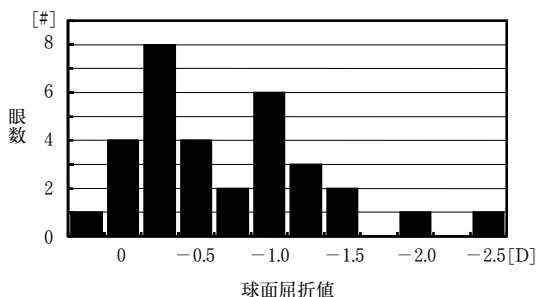


図 1 対象の球面屈折値の分布

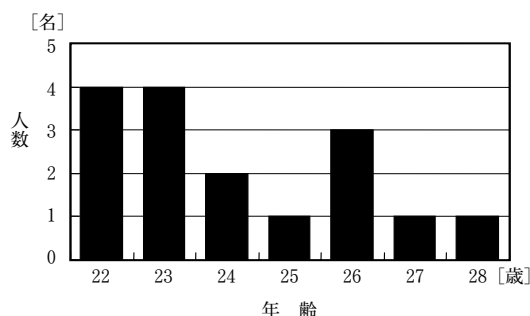


図 2 対象の年齢分布

- ① オートレフラクトメータ (ニデック社製 AR 1100) による他覚的屈折値の測定
- ② 自覚的屈折検査
- ③ 調節機能解析装置 (ライト製作所社製試作器) による調節機能検査
- ④ 自覚的屈折検査に基づいた完全矯正レンズを眼鏡試験枠に挿入して装用させた
- ⑤ IT 機器の操作 30 分間 (視距離を 30 cm に固定して、ビデオゲーム器 (任天堂社ゲームボーイ) を用いて単純なゲームを行い、得点を競わせた。)
- ⑥ オートレフラクトメータによる他覚的屈折値の測定

⑦ 調節機能解析装置による調節機能検査
調査の前後に、以下の簡単なアンケート調査も行った。

- A. 日常疲れやすいと感じますか？
1. 非常に疲れやすい
 2. 疲れやすい
 3. 時々疲れる
 4. あまり疲れない
 5. 全く疲れない
- B. 今回のゲームで眼が疲れたような気がしますか？
1. 非常に疲れた
 2. 疲れた
 3. 少し疲れた
 4. あまり疲れなかった
 5. 全く疲れなかった

解析には対象が日常視で利目と感じている眼を用いた。

調査はオートレフを用いた他覚的屈折値、調節機能解析装置を用いたときの調節反応が0.75 D以下の調節状態における調節微動の高周波成分出現頻度（HFC 値）および視標が他覚的屈折値+0.5 D～-3.0 Dに提示された時に示した最小屈折値と最大屈折値の差（調節反応量）を比較検討した。

結 果

作業前に対して作業後の他覚的屈折値は、遠視化7名、不変2名、近視化7名であった（図3）。作業開始前、および作業終了後の他覚的屈折値の平均値はそれぞれ、 -0.91 ± 0.68 D、および -0.85 ± 0.67 Dであり、その差はほとんど無かった（ $p=0.495$ ）。また、作業後のHFC 値は、増加12名、不変1名、減少3名であった（図4）。作業前後

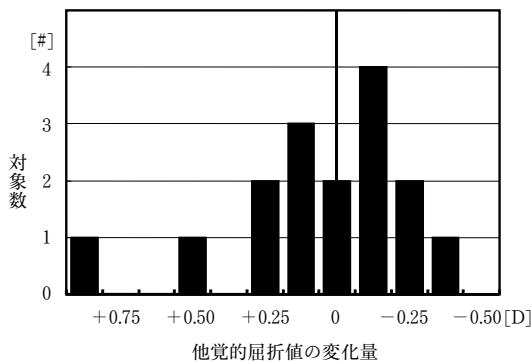


図3 作業前に対する作業後の他覚的屈折値の変化量

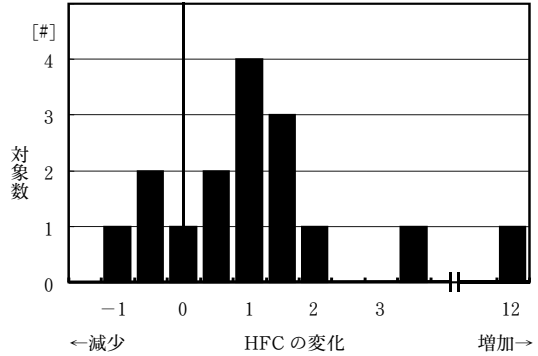


図4 作業前に対する作業後のHFC 値の変化量

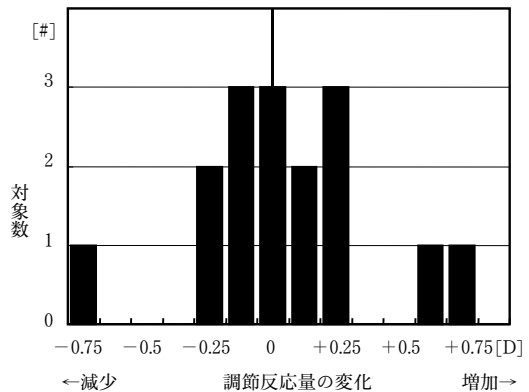


図5 作業前に対する作業後の調節反応量の変化量

の平均値は、それぞれ 53.64 ± 2.56 、および 56.00 ± 5.71 であり、作業後に、わずかながら上昇する傾向が観察された（ $p=0.094$ ）。作業後の調節反応量は、増加7名、不変3名、減少6名であった（図5）。作業前後の平均値は、それぞれ 1.85 ± 0.48 D、および 1.91 ± 0.47 Dであり、作業による影響がでていたとはいえなかった（ $p=0.554$ ）。16例中1例だけに著しい変化が観察され、作業後に屈折値は0.13 D近視化を示し、調節反応量は0.82 D増加し、調節微動のFk-mapは正常型（図6）から調節緊張型（図7）へと変化した。

アンケート結果では、日常疲れやすい3名、時々疲れる9名、あまり疲れない3名であり、今回の作業によって、眼が非常に疲れた1名、疲れた3名、少し疲れた7名、あまり疲れなかった3名、全く疲れなかった1名であり、二項分布のように分散していた。

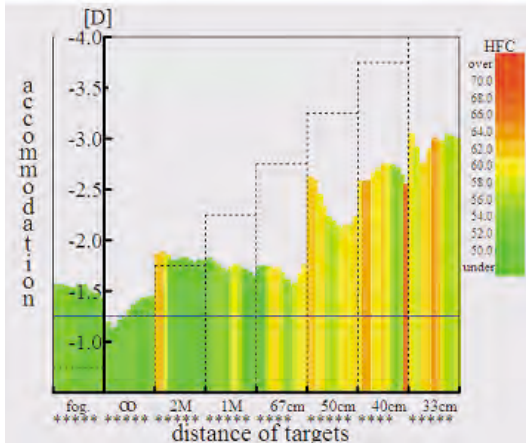


図6 作業後に HFC 値に異常増加を示した例の作業前の Fk-map

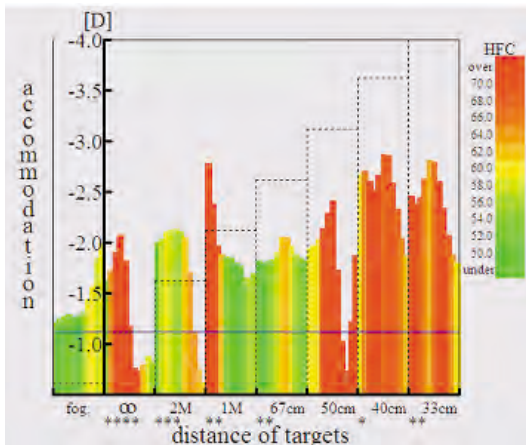


図7 図6の症例の作業後の Fk-map

考 察

IT 作業が調節機能に与える影響について多くの報告があるが、これまでは調節機能を定量評価するよい検査方法がなかった。最近、開発された調節機能解析装置は、調節微動の高周波成分出現頻度（HFC 値）が毛様体筋の緊張の程度と相関があることを応用して、調節の緊張の程度を定量的に評価する可能性が示唆されている。今回、本装置を用いて、比較的短時間の IT 作業が調節機能に与える影響を定量評価できるかを検討するための調査を行なった。併せて、従来から行われているオートレフラクトメータによる他覚的屈折値

表1 アンケート A 結果と HFC 値の変化

質問：2. 日常疲れやすい 3. 時々疲れる
4. あまり疲れない

回 答	対 象 人 数	HFC の変化平均
2	3	+1.53±2.10
3	9	+1.00±1.26
4	3	+0.86±0.95

表2 アンケート B 結果と HFC 値の変化

質問：1. 今回の作業後に眼が非常に疲れた
2. 疲れた 3. 少し疲れた
4. あまり疲れなかった 5. 全く疲れなかった

回 答	対 象 人 数	HFC の変化平均
1	1	+1.47
2	3	+1.77±0.25
3	7	+1.15±1.41
4	3	+0.89±1.52
5	1	-1.89

の変化と調節反応量の変化も調査した。

今回の調査では、作業後の他覚的屈折値の変化が、平均値で遠視側にシフトしていた。調節疲労が生じたときの屈折値のシフトは、遠視側にシフトする者と近視側にシフトする者の報告がなされており、今回の調査でも遠視化を示した症例と近視化を示した症例の数は同数であった。これらのことは屈折値の変化で調節疲労の程度を評価することはできないことを示唆する。

調節反応量の変化も、増加した症例が7名であり、減少した症例は6名と、ほぼ同数であった。調節反応量の変化も調節疲労の視標にはなり得ないことが示唆された。

調節微動の高周波成分出現頻度を示す HFC 値に関しては、著しく増加した1例を除いて評価した場合でも、増加した症例は11名であり、減少した症例は3例だった。統計学的な検定では $p=0.094$ であり、5%の危険率では棄却されたが、他覚的屈折値や調節反応量の変化とは比率が異なっていた。また、1症例では作業前の Fk-map は正常型であった（図6）が、作業後には軽度の調節けいれん型を呈し（図7）、作業後に HFC 値は異常に高い値を示した。この症例はアンケート調査

でも作業による疲れを訴えていた。

アンケート調査と HFC 値をクロスしてみると、日常眼が疲れやすいと答えた対象では、時々疲れる、あるいはあまり疲れないと答えた対象に比べて、作業後の HFC 値の増加が大きかった (表 1)。さらに、今回の IT 作業によって、眼が非常に疲れた、あるいは疲れたと答えた対象では、少し疲れた、あるいはあまり疲れなかったと答えた対象に比べて、HFC 値の増加が大きかった。今回の IT 作業では全く疲れなかったと答えた 1 例では、作業後の HFC 値は返って減少していた (表 2)。今回の対象人数が少数であることから、統計学的な検定は行っていないが、HFC 値は自覚症状とも良く相関する印象があった。

ビデオゲームを 30 分間行なう程度の軽い調節負荷でも調節機能への影響は生じていることが推測され、他覚的屈折値や調節反応量の変化では検

出は困難と思われたが、調節微動の高周波成分を用いた HFC 値は、統計学的には危険率 5% で棄却されたものの、その数値の変化は自覚症状とも良く相関し、今後の調査に期待できると考えられた。

[文 献]

- 1) 梶田雅義：調節微動の臨床的意義. 視覚の科学 16: 107-113, 1995.
- 2) 梶田雅義, 伊藤由美子, 佐藤浩之, 小林健太郎, 渡邊まき子, 加藤桂一郎：調節微動による調節安静位の検出. 日眼 101(5): 413-416, 1997.
- 3) 梶田雅義：調節応答と微動. 眼科 40: 169-177, 1998.
- 4) 梶田雅義：調節機能からみた屈折矯正. 視覚の科学 (日本眼光学学会誌) 22(1): 2-6, 2001.
- 5) 鈴木説子, 梶田雅義, 加藤桂一郎：調節微動の高周波成分による調節機能の評価. 日本眼光学学会誌「視覚の科学」22: 93-97, 2001.

VDT 作業者の近々累進屈折力レンズ常用の臨床評価

梶 田 雅 義

(福島県立医科大学医学部眼科学教室, 梶田眼科)

高 橋 奈々子

(梶田眼科)

高 橋 文 男

(㈱ニコン・エシロール 研究開発)

緒 言

IT 機器の発達はめざましく、至る所に VDT (Video Display Terminal) が存在している。日常生活で VDT 画面を見る機会は非常に多くなってきている。このような環境下では、近視視をしている時間が長く、VDT 作業用にデザインされた近々累進屈折力レンズ眼鏡でも、日常視に支障がないのではないか、あるいは返って快適な視環境が得られるのではないかと考えて調査を行なった。

対象および方法

日常の業務で VDT 作業が多い有償ボランティア 20 名 (男 11 名, 女 9 名) を対象とした。対象の年齢は 25~47 歳に分布しており、平均年齢は 35.3 歳であった。対象の球面屈折値は $-0.75\text{D} \sim -8.00\text{D}$ に分布しており (図 1), 平均値は $-3.58 \pm 1.48\text{D}$ であった。対象の円柱屈折値は $0.00\text{D} \sim 3.00\text{D}$ であり (図 2), 平均値は $1.15 \pm 0.81\text{D}$ であった。

処方レンズは加入度数 -1.00D の近々累進屈折力レンズ (ニコン・エシロール社製ソルテス I) を用いた。近用度数を決定し、それに対して遠用をマイナス加入度数として処方する通常のソルテスの処方方法とは異なった処方方法を行なった。すなわち、処方レンズ度数の決定は、執筆者が自

ら両眼同時雲霧法¹⁾を行い、遠用矯正度数を求め、その値から -1.00D を減じた値をソルテスの処方度数とし、マイナス加入度数を加えて処方した。すなわち、遠用矯正度数 -1.00D を近用度数と設定して、ソルテス I を処方した。このレンズを作業中および日常生活で常用させた。

調査は眼鏡処方時と装用開始 4 週後に、オート

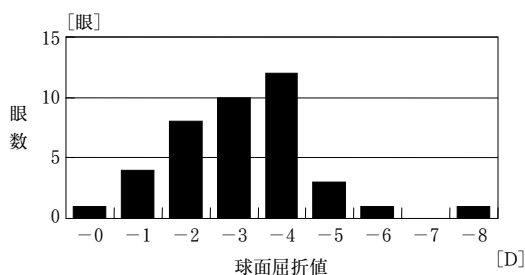


図 1 対象の球面屈折値の分布

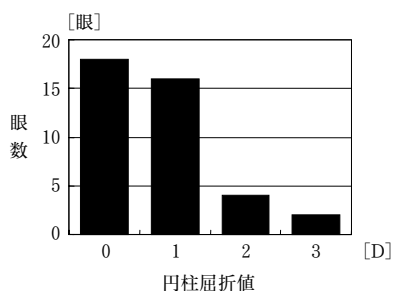


図 2 対象の円柱屈折値の分布

レフラクトメータを用いた他覚的屈折値、調節機能解析装置²⁾(ニデック社製 AA-1)を用いた調節反応量、調節微動の高周波成分³⁾出現頻度(HFC値)の測定を行った。調節反応量は調節負荷が+0.5~-3.0Dの範囲で検出された最高屈折値と最低屈折値の差で示し、HFC値は記録中の最低屈折値から-0.75Dの範囲に屈折値が位置するときの調節微動高周波成分出現頻度の平均値で示した。併せて、シルマーテストI法による涙液分泌検査を行なった。また眼鏡装用開始日、装用開始1週間および4週間後にアンケート調査を行なった。

アンケート内容は

- A. 眼鏡の装用感はどうですか。
1. 良好
 2. やや良好
 3. やや不良
 4. 不良
- B. 眼の疲れはどうなりましたか。
1. 改善
 2. やや改善
 3. 不変
 4. やや悪化
 5. 悪化

の2項目とした。

結 果

眼鏡装用開始4週間後の他覚的屈折値は眼鏡使用前に比べて、近視化13眼、不変10眼、遠視化17眼であり(図3)、平均値は+0.05±0.31Dであった。遠視化したものが若干多かったが、統計学的な有意差はなかった。

4週間後の調節反応量の変化は、増加17眼、不変10眼、減少13眼であり(図4)、平均値は装用開始前の1.75±0.87Dから4週間後の1.51±0.71Dへと減少したが、統計学的には調節反応量の低下

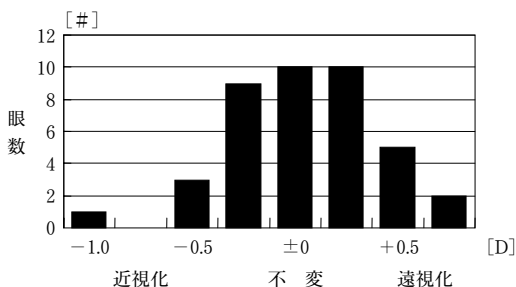


図3 処方眼鏡装用前に対する4週間後の屈折値の変化

があったとはいえなかった(P=0.06)。

HFC値の変化は、減少23眼、不変8眼、増加9眼であり(図5)、平均値は装用前の50.1±7.5から、装用開始4週間後の47.6±6.7へと統計学的にも有意に減少した(P=0.01)。

涙液量はシルマーテストI法で、22mm以上を過剰、22mm未満8mm以上を適正、8mm未満を過少として評価したが、眼鏡装用開始前には過剰14眼、適正15眼、過少9眼から、装用開始4週目では過剰14眼、適正18眼、過少6眼になっていた(図6)。平均値は装用開始前16.9±9.5、装用開始4週間後17.9±9.4であった。全対象で統計学的な検定を行った場合には、有意な変化はなかった(P=0.51)が、装用前に過剰分泌を呈した14眼を除いて処理すると、その平均値は装用開始前10.8±5.5から、装用開始4週間後16.3±7.6へと統計学的にも有意に増加していた(P<0.01)。

装用感に関するアンケートでは、初日、1週間後、

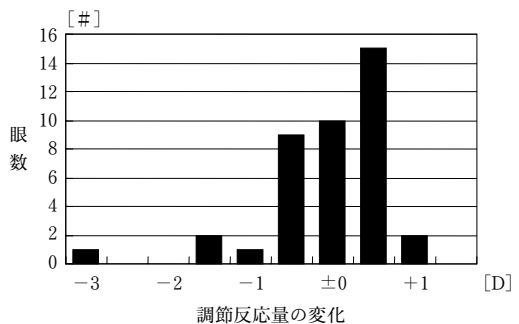


図4 処方眼鏡装用前に対する4週間後の調節反応量の変化

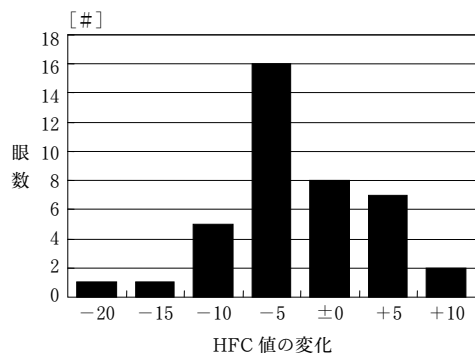


図5 処方眼鏡装用前に対する4週間後のHFC値の変化

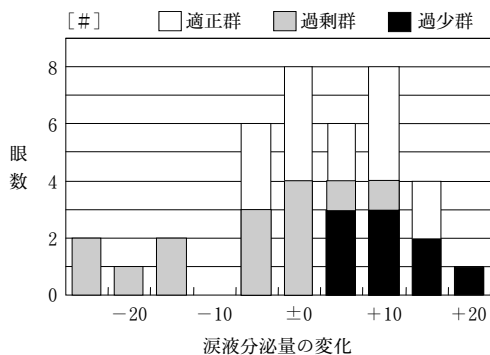


図6 処方眼鏡装用前に対する4週後の涙液量の変化

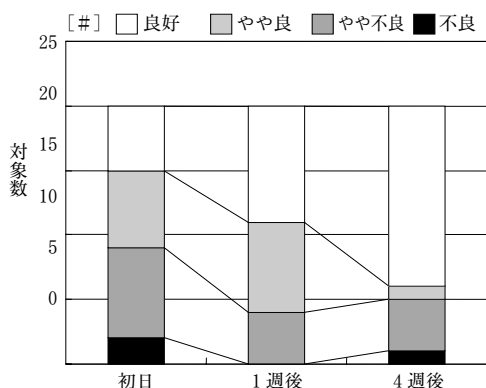


図7 処方眼鏡の装着感

4週後と良好に感じる対象が増加していたが、4週後にもなお不良と感じていたものも1例あった(図7)。また疲れの自覚症状の改善に関しては、1週後と4週後の間に大きな変化はなかった(図8)。

考 按

VDT作業で眼疲労感や眼の乾燥感を訴える例は多く、IT眼症(テクノストレス眼症、VDT症候群)あるいは単にドライアイと診断されて、対処療法だけ施されている症例に多く遭遇する。このような症例の中には眼鏡が不適切であるために起こっていると考えられるものも多く含まれており、眼鏡度を調整することで、眼疲労感やドライアイ症状が消退する例も少なくない。このような臨床経験を実証するために、今回の調査を企画した。

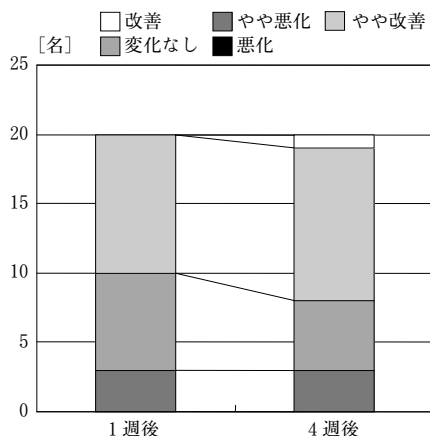


図8 処方眼鏡装用後の疲労感の変化

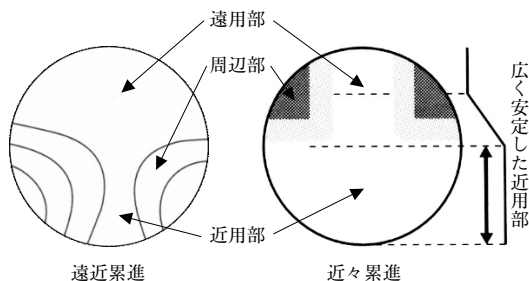


図9 累進屈折力レンズのデザインの比較

今回処方した眼鏡のデザインはVDT作業者用に開発された近々累進屈折力レンズで、通常の遠近両用累進屈折力レンズに比べて、遠用部の面積は狭く、近用部の面積は広がっている(図9)。VDT作業が多い人には、近用部が広い方が、作業時に快適な視力が得られることを考慮して、このデザインを採用した。

4週後のアンケートAとBの結果の関係は、良好な装着感が得られた例に疲れの改善が得られており、装着感が不良であった例では疲れの症状が悪化していた(表1)。装着感の良好な眼鏡は眼疲労にも直接関係していることが分かる。アンケートAとHFC値の変化との関係を分析すると、装着感に関係なくHFC値は減少しているものの、装着感が良好であった対象では、装着感が不良であった例に比べて、4週後のHFC値が大きく減少していることが分かる(表2)。累進屈折力レ

表1 アンケートAとBの関係

アンケートA：眼鏡の装用感
 1. 良好 2. やや良好
 3. やや不良 4. 不良
 アンケートB：眼の疲れ
 1. 改善 2. やや改善 3. 不変
 4. やや悪化 5. 悪化

		B				
A	回答	1	2	3	4	5
	1	1	10	3		
	2		1			
	3			2	2	
	4				1	

対象数

表2 アンケートAとHFC値

回 答	対象眼数	HFCの変化平均
1	28	-2.94±0.26
2	2	-1.11
3	8	-1.96±6.46
4	2	-0.06

表3 アンケートBとHFC値

回 答	対象人数	HFCの変化平均
1	1	-1.00
2	11	-4.35±5.22
3	5	+0.92±5.57
4	3	-2.00±7.51
5	0	—

ンズで良好な装用感が得られた例では、日常生活で毛様体筋の過剰な緊張が軽減さるようになったことが示唆される。また、アンケートBとHFC値の変化との関係を分析すると、疲れが改善した例では疲れが改善しなかった例に比べて、4週後のHFC値の減少の程度が大きいことが分かる(表3)。このことはHFC値の変化が自覚的な症状と良く相関し、疲れの他覚的な指標として利用可能であり⁴⁾、HFC値の減少は疲労の改善を意味することを示唆する。

アンケートA結果と涙液量の変化の関係では、シルマー試験紙の刺激のために初回の検査では過剰に涙液が分泌された例も含まれることを勘案し、初回の涙液分泌量が22mm以上を過剰群、22mm未満8mm以上を適正群、8mm未満を過少群の3群に分けて分析した。過剰群では4週後には減少していた例が多かったが、適正值を下回ることはなく、過剰分泌が適正化していた(表4)。これは、予測通り、初回の検査ではシルマー試験紙の刺激によって、反応性分泌が促進されていたものが、2回目には検査慣れのために刺激を感じに難くなっていたものと考えられる。適正群と過少群では4週後の涙液量は増加しており、特に、過少群の全例で増加を認めた。またアンケートB結果と涙液量の変化でも、過剰群では不規則であったが、適正群および過少群ではアンケート結果に関係なく、涙液量の増加を認めた(表5)。これらのことは、累進屈折力レンズによる毛様体筋の弛緩が自律神経に作用して^{5), 6)}、涙液分泌を正常化したことを示唆する。日常の診療で、コンタクトレンズ着用者の乾燥感が近視の過矯正に原因があり、過矯正を是正することで乾燥感が消滅すること、ドライアイを訴えるVDT作業者が適正な

表4 アンケートAと涙液分泌量の変化

(単位: mm)

回 答	過 剰		適 正		過 少	
	眼 数	涙液量の変化	眼 数	涙液量の変化	眼 数	涙液量の変化
1	7	-8.7±8.6	10	+2.6±4.7	9	+8.4±5.4
2	2	+3.5	0	—	0	—
3	4	-9.3±12.5	4	+4.0±5.7	0	—
4	1	±0.0	1	+12.0	0	—

表5 アンケートBと涙液分泌量の変化

(単位: mm)

回 答	過 剰		適 正		過 少	
	眼 数	涙液量の変化	眼 数	涙液量の変化	眼 数	涙液量の変化
1	1	-15.0	1	±0.0	0	—
2	8	-4.9±9.8	5	+3.8±4.4	7	+7.9±5.9
3	2	+1.5±2.1	6	+3.8±6.4	2	+10.5
4	3	-13.3±11.6	3	+4.0	0	—

作業眼鏡を用いることで改善することと相関するものと考えられる。

調節疲労とドライアイの関係は、いまだ十分な調査が行われていない。最近、眼精疲労を訴える患者が多くなっていることは、IT機器の使用頻度と相関することは拒めないが、環境に適した屈折矯正がなされていない対応側の問題もあると思われる。ドライアイも増加しているといわれているが、過矯正近視眼に多く、適正な矯正を提供することで改善する例も多い現実を考えると、ドライアイが増加しているのではなく、不適切な矯正によって増加させられている可能性がある。すべての矯正は視力値だけではなく、眼生理学を考慮して提供されるべきである⁷⁾。今回の調査結果は、累進屈折力レンズがVDT作業の多い現代人の常用眼鏡として、望ましい一つの矯正手段であることが示唆された。しかし、20例中5例が装用感に不良を訴え、その内3例が疲労感の悪化を訴えたことは、累進屈折力レンズのデザインと処方技術のさらなる改善が必要であることをも示唆する。

【文 献】

- 1) 梶田雅義, 山田文子, 伊藤説子, 伊藤由美子, 加藤桂一郎: 両眼同時雲霧法の評価. 視覚の科学 (日本眼光学学会誌) 20(1): 11-14, 1999.
- 2) 鈴木説子, 梶田雅義, 加藤桂一郎: 調節微動の高周波成分による調節機能の評価. 日本眼光学学会誌「視覚の科学」22: 93-97, 2001.
- 3) Winn B., Pugh JR, Gilmartin B., Owens H.: The frequency characteristics of accommodative microfluctuations for central and peripheral zones of the human crystalline lens. Vision Research 30: 1093-1099, 1990.
- 4) 梶田雅義, 伊藤由美子, 山田文子, 渡邊まき子, 加藤桂一郎: 調節疲労と調節微動. 視覚の科学 17: 66-71, 1996.
- 5) 木下 茂: IT眼症の捉え方. 日本の眼科 74(8): 859-861, 2003.
- 6) 木下 茂: 調節障害の病態と治療. 日眼会誌 98: 1256-1268, 1994.
- 7) 梶田雅義: 近用専用と遠近両用眼鏡の処方. 眼科診療プラクティス 49: 36-40, 1999.

輝度変調型 3D ディスプレイによる 立体映像負荷の視機能への影響

細 島 淳

(大阪大学医学系研究科 感覚器外科学 (眼科))

高 尾 泰 子

(大阪大学医学部附属病院眼科)

不二門 尚

(大阪大学医学系研究科 感覚機能形成学)

石樽 康雄・陶山 史朗・高田 英明・中沢 憲二

(日本電信電話(株)サイバースペース研究所)

目的：従来の 3D ディスプレイは、左右眼別々に入力された平面画像の視差情報から立体感を得るものであり、輻湊と調節の乖離が視機能に影響を与えると考えられている。現在までに何種類かの 3D ディスプレイで映像負荷実験が行われたが、2D 負荷に比べてアンケートで疲労のスコアが高くなり、視機能検査でも生理的で可逆的な変化が発生している。2002 年に開発された輝度変調型 3D ディスプレイ (Depth-Fused 3-D Display: 日本電信電話(株)サイバースペース研究所, 以下 DFD) は液晶 2 枚を前後に配置し、その輝度比によって立体感を感じ取る新しい方式であり、従来の視差による奥行き知覚と異なる影響が考えられる。今回、我々は DFD 方式による 3D 映像負荷が視機能に与える影響を検討した。

対象と方法：対象は屈折異常以外に眼疾患のない健康被検者 10 名。3D 負荷としては、4 インチの DFD ディスプレイに前面、中間、後面の 3 つの視標をランダムな位置に提示し、中間の深さのもの位置を回答する負荷を 20 分行い、前後の視力 (10%ETDRS chart)、屈折 (ARK-730 A, NIDEK)、調節負荷下の動的調節反応 (AA-1, NIDEK)、調節負荷下の縮瞳率 (TriIRIS, 浜松

ホトニクス) を測定し、併せてアンケート調査を行った。対照の 2D 負荷は同一被検者に実施日を変え、視差による奥行き情報のない大中小の視標をランダムに配置し、中サイズがどこにあるかを回答する負荷を 20 分行い、同様の視機能検査、アンケートを行った。

結果：3D 負荷前後の視機能を比較したが、低コントラスト視力、屈折値、縮瞳率、調節幅、調節のゆらぎに有意な差はなかった。2D 負荷前後の比較でも有意差はなかった。負荷前後の差を 3D 負荷と 2D 負荷で比較したが有意差は認められなかった。アンケートでは眼の疲れ、眼気の点数が高く、2D 負荷・3D 負荷とも同様の傾向を示し、スコアに有意差は認められなかった。位置の正答数、回答数は 3D 負荷時の方が有意に高かった。

考察：DFD 方式においては、アンケート結果および視機能への影響の双方とも 2D 負荷と大きく変わらなかった。正答数が 2D 負荷時よりも高く、立体感という情報を自然に付加できる有望な方式と考えられた。今後 DFD が有用な認知補助となるか心理学的な検討が必要と考えられた。

結論：新しい 3D 表示方式である DFD では、

従来の視差式3D表示装置と異なりアンケート結果においても2D負荷との有意差がなく、かつ視機能に与える影響は2D負荷と同様に生理的な範囲内であった。これらの結果から、DFDはより安全に用いることができる3D表示装置と考えられた。

はじめに

眼精疲労は、視作業を行った結果生じる疲労状態で、生理的な眼の疲労は、しばらく休息すれば軽快するが、眼精疲労は休息後も回復しない疲労である。症状が強いと眼痛、頭痛、鼻根部の圧迫感などの症状が起きるが、これらの眼症状は、毛様体筋を持続的に長期間緊張させることによる毛様痛（三叉神経第1枝に由来する）に起因し、その放散痛として前頭神経の分布する前頭部痛、鼻根部の圧迫感が生じると考えられている。そのほか、眼のかすみ、しょぼつきなど、屈折-調節系の変化や、ドライアイに起因すると考えられる症状も起こる。さらにめまい、不快感、吐き気など映像酔いに関係する症状が出る場合もある。

視覚的な負荷の視機能に対する影響としては²⁾⁻⁹⁾、屈折度の近視化、調節幅の低下、瞳孔面積の縮小、近見負荷時の瞳孔の縮小率の低下、フリッカー値の低下、調節の変動幅の増加、負の球面収差の増加などの変化が報告されている。しかしながら、眼精疲労は自覚的的症状であり、また個人差が大きいので、明確な基準を設定することは困難である。これは、見にくいという自覚症状が、最終的には自覚的な視力検査でしか評価できないのと類似している。

近年立体映像は、ディスプレイの精度向上やコンピュータの処理能力の飛躍的進歩に伴い、仮想空間でありながらより現実空間に近い表示が可能となってきた。表示方法はヘッドマウントディスプレイ（HMD）のほか、液晶シャッターを用いてTV画面を見る方法などがあるが、その多くは視差を与えた画像を左右眼に投射して、その2つの映像を大脳皮質で処理して1つの像として認識することにより立体感を得る方法をとっている。この方法では現実空間と比較して調節と幅湊の関係が異なっており、このことが立体映像を見

たときに眼精疲労を感じる1つの要因になると考えられる。疲れにくい3Dディスプレイ、疲れにくい立体ソフト開発への医学的な働きかけが必要と考えられるようになった。

2002年に開発された輝度変調型3Dディスプレイ（Depth-Fused 3-D Display：日本電信電話（株）サイバースペース研究所、以下DFD）は液晶2枚を前後に配置し、その輝度比によって立体感を感じ取る新しい方式の3Dディスプレイであり¹⁾、従来の視差による奥行き知覚とは異なった影響を与える可能性が考えられる。本稿では、DFD方式による3D映像負荷が視機能に与える影響を2D映像負荷と比較する形で検討した。検討項目は、眼精疲労のアンケート、低コントラスト視力、瞳孔の直径、屈折度、調節の揺らぎ（変動幅）、調節力（幅）とした。

I. 対象と方法

立体映像の提示装置としてDFDを用いたが、DFDの制御にはWindowsXPのPC（Pentium 4: 2.8 GHz, Memory: 1 GBytes, HDD: 160 GB, Graphic Accelerator: Matrox Parhelia/128 MB DDR）を用い、通常の汎用18インチ液晶ディスプレイと4インチDFDを接続した。DFDの前後2枚の液晶は4インチで、前後液晶面の間隔は5mmであった。

対象は屈折異常以外に眼疾患のない健常被験者10名（男性2名、女性8名）で、年齢は24~48歳（平均 29.4 ± 7.3 歳）であった。

映像負荷は視覚依存情報に基づく選択問題に20分間できるだけ多く解答するもので、内容は画面の左、中央、右にランダムな配列の大中小の視標を提示し、中サイズの位置に対応したキーをタイプするもので、決められた時間内（20分）同じ作業の繰り返しに対するモチベーション維持のため、「回答数・正答数によってランキングを行う」と被験者にあらかじめ告知の上行った上で、回答数、正答数を記録した。3D映像負荷にはDFDを用い、大の視標を前面液晶に、小の視標を後面に、中の視標を中間（液晶面間5mmに対して、約2.5mm相当）に表示した。2D映像負荷には大中小すべての視標を後面液晶に表示し、

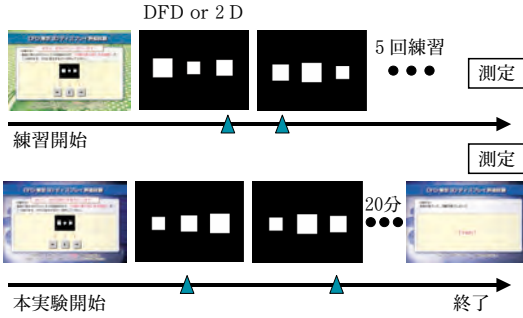


図1 作業負荷（20分）の概要

タスク：大中小の3つの■の内、中のサイズ（DFDでは中間の奥行き情報も負荷）に知覚されるものに対応するキーボードのキーで回答

前面液晶は使用しなかった（図1）。

評価項目としては、自覚的な症状をアンケート調査で行い、視力は低コントラスト表（10% ETDRS chart）を用いて測定した。瞳孔径、縮瞳率は浜松ホトニクス社製 TriIRIS、を用いて測定し、屈折値は、Nidek 社製オートレフラクトメータ ARK-730 A を用いて測定し、調節の揺らぎは ARK-730 A に接続された PC で解析ソフト AA-1 で算出した。

2D 負荷、3D 負荷ともに視聴前に上記評価を行い、20分の視覚作業負荷の後、視聴後評価を行った。視聴前後の値の検定は Paired-ttest を用いて行った。

II. 結果

アンケートはまったく疲労を感じない（1点）から非常に疲労を感じる（5点）の5段階評価で行った。眼が疲れるという訴えが一番多く（以下カッコ内は平均値 2D：3.4点 3D：3.3点）、以下眠気を感じる（2D：2.9点 3D：3.0点）、しょぼつき（2D、3Dとも2.6点）、頭がぼんやりする（頭部不快感）（2D：2.4点 3D：2.1点）、眼がかすむ（2D：2.3点 3D：2.2点）の順であった（図2）。

10%ETDRS チャートによる低コントラスト視力検査は、2D 負荷前 0.01 ± 0.11 、2D 負荷後 0.02 ± 0.08 、3D 負荷前 0.01 ± 0.08 、3D 負荷後 0.03 ± 0.10 といずれも20分の負荷後に軽度の低コントラスト視力低下傾向が認められたが、2D

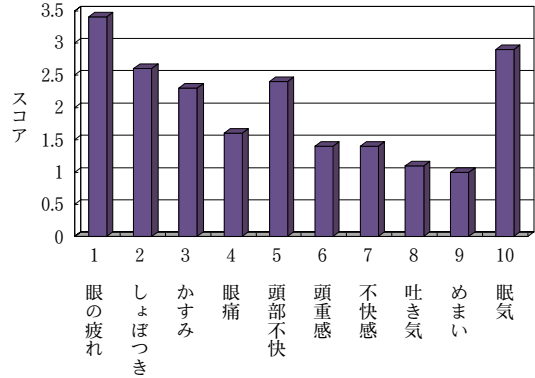


図2a 2D負荷後の自覚的な疲労度

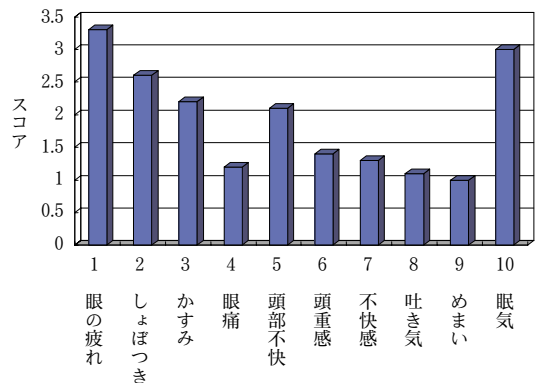


図2b 3D負荷後の自覚的な疲労度

と3Dの間に差は無かった。

屈折値、調節幅、縮瞳率は2D、3Dとも負荷前後に差はなく、また2Dと3Dの間に差はなかった。Hfc 1 mean は調節反応が軽度（0から0.75ジオプター）であるときの調節ゆらぎの高周波成分（High Frequency Component）の量で、Hfc 2 mean は調節反応が中等度（1.0から3.0ジオプター）の時の調節ゆらぎの高周波成分であるが、老視や遠視で負荷がシフトした場合、Hfc 2が算出できないことがある。今回は4名でHfc 2が算出されなかったが、生データの目視上、調節痙攣などの異常な反応は検出されなかった。他の6名ではHfc 1、Hfc 2に負荷前後に差はなく、2Dと3Dの間には差がなかった。

20分の作業は同じ作業の繰り返しに対するモチベーション維持のため、「正答数、正答率によってランキングを行う」と被検者にあらかじめ告知の上行ったが、正答数は2D視標で平均 $1327.9 \pm$

表 1 a 2D 負荷前後の視覚系の変化

低コントラスト視力 (10%ETDRS Chart) (LogMAR unit)	Pre Post	0.01±0.11 0.02±0.08	P=0.460
屈折値 (diopter)	Pre Post	-1.50±2.82 -1.30±3.08	P=0.269
調節の揺らぎ (高周波成分)	Pre Post	47.29±6.12 47.28±5.86	P=0.989
調節幅 (2D 負荷時) (diopter)	Pre Post	2.12±0.55 1.74±0.67	P=0.021
縮瞳率 (%)	Pre Post	55.90±10.36 56.16±14.48	P=0.923

表 2 2D・3D 負荷前後の差 (負荷前-負荷後)

低コントラスト視力 (10%ETDRS Chart) (LogMAR unit)	2D 3D	-0.01±0.06 -0.02±0.04	P=0.856
屈折値 (diopter)	2D 3D	-0.20±0.54 0.025±0.32	P=0.225
調節の揺らぎ (高周波成分)	2D 3D	0.02±3.34 2.43±4.98	P=0.103
調節幅 (diopter)	2D 3D	0.38±0.43 0.24±0.53	P=0.361
縮瞳率 (%)	2D 3D	-0.26±8.29 -1.19±5.29	P=0.779

表 1 b 3D 負荷前後の視覚系の変化

低コントラスト視力 (10%ETDRS Chart) (LogMAR unit)	Pre Post	0.01±0.08 0.03±0.10	P=0.182
屈折値 (diopter)	Pre Post	-1.50±2.57 -1.53±2.73	P=0.811
調節の揺らぎ (高周波成分)	Pre Post	47.32±7.80 44.85±6.06	P=0.153
調節幅 (3D 負荷時) (diopter)	Pre Post	2.05±0.78 1.81±0.65	P=0.181
縮瞳率 (%)	Pre Post	52.48±10.10 53.67±12.17	P=0.495

表 3 視覚負荷-正答数, 正答率

	2D 正答数	3D 正答数	2D 正答率	3D 正答率
MK	1544	1629	99.42	99.76
TO	1241	1603	99.28	97.57
TH	1088	1168	99.09	99.91
TM	1263	1578	97.68	95.12
ME	1238	1910	96.87	94.23
FH	1161	1468	96.35	98.06
HT	1320	1556	96.00	96.59
TY	1560	2023	95.53	96.38
TT	1536	1728	94.12	98.52
平均	1327.9	1629.2	97.15	97.35
標準偏差	176.5	247.8	1.86	1.95

(1名はデータ紛失)

176.5, 3D 視標で 1629.2±247.8 で有意に 3D 視標での回答数が多かった (p=0.01, Paired T-test)。正答率は 2D 視標で平均 97.15±1.86%, 3D 視標で 97.35±1.95% でいずれも高率であったが、有意な差はなかった (表 3)。

III. 考 按

DFD は従来の視差を利用した立体表示装置とは異なり、実際に配置された液晶の面間に視標を提示するもので、その原理上、調節と輻輳の乖離が生じにくいことから、従来のディスプレイより視機能に与える影響は少ないことが予想された。

アンケート結果では、眼がつかれる、眠気を感じるなどの回答が多かったが、2D 負荷、3D 負荷の間に差が無かったことから、DFD 特有のものではなく、20 分同じ作業を続ける負荷によるものと推測された。

低コントラスト下での視力検査は、通常白の背

景に黒と視標で行う視力検査を、白の背景に 10%の薄い灰色の視標で行うものであり、軽度の白内障や、瞳孔・調節機能の低下など通常の視力検査では検出できないような軽微な機能低下をも検出できる。今回の視覚負荷では 2D, 3D 負荷ともに視聴後に低コントラスト視力の低下傾向があるが、2D と 3D の間で有意な差はなく、DFD による 3D 負荷特有の問題はなかった。

眼精疲労によって生じうる一時的な調節の異常を検出するため、調節ゆらぎの解析を行ったが、負荷前後に差はなく、2D と 3D の間で差はなかったことから、DFD による 3D 映像負荷 20 分間程度では特に視機能に影響は与えなかったと考えられる。

これらのことから、DFD は視機能に有意な影響を与えない安全な表示装置と考えられた。しか

し、従来の視差を利用した3Dディスプレイでも視機能に大きな影響は与えておらず^{4), 8), 9)}、今回の実験結果からだけではDFDの優位性、安全性を実証できていない。

本来眼精疲労の負荷条件である、視覚負荷の作業であったが、得られる正答数が2Dよりも3Dで多く、また、被験者からもDFDで3D表示された視標は、2Dで大きさだけが違う視標よりも見分けやすく、作業がやりやすかったとの感想があり、従来の顔の位置に規定される視差型の3Dディスプレイよりも視覚認知に役立つ可能性が示唆された。今後心理学的、心理物理的なアプローチでの検討が望まれる。

IV. 結 論

今後、DFDがどのように応用されていくかは今後の動向を見守る必要があるが、携帯電話端末の表示装置として用いたり、カーナビゲーションの表示装置として用いたりする場合、今回の20分の濃密な作業より負荷の高い作業の頻度は比較的少ないと考えられる。DFDは2D負荷とも差はなく、またDFD視聴前後でも眼科的に有意な視機能変化を検出できなかったことから、比較的安全に用いることができる3D表示装置と考えられた。

被験者の感想として得られた、DFDで3D情報を付加した「見分けやすさ」については、眼鏡ありの3D表示装置（液晶シャッターなど）、眼鏡なしの他方式の3D表示装置（イメージスプリッタなど顔の位置が規定されるものなど）との比較などでDFDの優位性を実証できるよう今後、検

討が望まれる。

【文 献】

- 1) Suyama S, Ohtsuka S, Takada H, Uehira K, Sakai S: Apparent 3-D image perceived from luminance-modulated two 2-D images displayed at different depths, *Vision Research* 44 : 785-793, 2004.
- 2) Saito S, Sotoyama M, Saito S, et al: Physiological indices of visual fatigue due to VDT operation: Pupillary reflexes and accommodative responses, *Industrial Health* 32 : 57-66, 1994.
- 3) Ostberg O: Accommodation and visual fatigue in display work, *Ergonomic Aspect of Visual Display Terminals* : 41-52, Taylor & Francis, London, 1990.
- 4) 細島 淳, 近江源次郎, 不二門尚, 安藤孝久, 星野美保, 金谷経一: 2D-3D変換による立体映像の瞳孔・屈折に与える影響, *視覚の科学* 17 : 139-143, 1997.
- 5) 中村芳子: VDT作業者健診にみる屈折・調節異常, *視覚の科学* 17 : 11-18, 1996.
- 6) Ishikawa S: Examination of the near triad in VDT operators, *Ergonomics* 33 : 787-798, 1990.
- 7) 奥山文雄, 所 敬, 山田晃弘, 金谷経一: 立体映像と人間の視機能, *3D映像* 10 : 4-9, 1996.
- 8) 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.
- 9) 細島 淳, 近江源次郎, 不二門尚, 安藤孝久, 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.

調節・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と立体像鑑賞での 両眼視差の許容量に関する研究

岩崎 常人・田原 昭彦

(産業医科大学眼科学教室)

研究目的

近年の情報技術 (Information Technology; IT) の進展は、モバイルコンピューターや携帯電話、インターネット、双方向 BS デジタル放送などの新たな電子機器の普及を促し、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。

IT の進展による今までとは違った視覚情報や視環境の特徴は、以下の 3 つに集約されると考えられる。①情報の伝達手段に GUI (Graphical User Interface) を多く用い、そのために高コントラストや色の多用、動画表示、立体映像表現などの視覚刺激が増加している事、②モバイルコンピューターや携帯電話にみられる様に仕事や遊びの場が通常の労働環境の整備されたオフィスだけでなく、例えば動的視覚刺激の混在する電車の中であったり、照明環境に考慮のない極端な明所下や暗所下 (例えば昼間の公園や夜間の歓楽街) であったりと、作業環境または使用環境が非常に多様化している事、③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である。

環境因子の悪化が、容易に眼精疲労を発症する事は古くから言われており^{1),2)}、現在でも特に VDT (Visual Display Terminal) 作業の作業環境と眼精疲労との関係は、多くの研究報告がある³⁾⁻¹¹⁾。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。

眼精疲労の原因は、Duke-Elder ら¹⁾ によると

視機能に関しては、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、不等視の 6 つが挙げられている。特に、調節機能の異常や低下が、眼精疲労発症の主要な原因の 1 つであると考えられている。調節と眼精疲労の関係を報告した論文は他にも多くあり、調節を構成する機能的要素のうち、視作業の後や眼精疲労様症状を有するものでは、調節力の減少^{3),4)} や調節近点の延長^{4),5)}、調節速度や調節時間の遅延⁶⁾⁻⁸⁾、微動調節運動の低周波化⁹⁾、Dark Focus (DF)¹⁰⁾⁻¹²⁾ の近方へのシフトが確認されている。特に、DF の近方化は副交感神経系の興奮であり、眼精疲労の原因が副交感神経系の異常興奮にあるとする報告^{13),14)} もあり、このことからすれば、眼精疲労の発症は調節の緊張に主因がある。眼精疲労様症状を多く訴える VDT 作業員や VDT 作業就業後の調節機能を測定した報告^{9),15)-18)} においては、その作業員もしくはその作業後に、調節緊張が生じ調節遠点の短縮や屈折値の近視化が生じ、調節緊張がやはり眼精疲労と関係しているとされる。

眼精疲労は、調節機能の低下または異常が原因している可能性が非常に強く、特に、毛様体筋に対する副交感神経系の作用による調節の緊張状態が大きく関与してい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ため、情動性の精神心理的刺激も調節に影響を及ぼし、視作業や視覚情報処理にメンタルストレスや認知要求 (cognitive demand) などの要因が加味された場合には、調節はさらに緊張する方向へ反応す

る^{19)~22)}。ITの進展から、例えば、携帯メールなどにみられる双方向通信における視覚情報の送受信は、他者からの情報に対する規制や束縛といった心理的負担を増大させ、調節はより一層緊張状態を強いられると推測される。

ITの進展から推測した3つに集約される視環境の変化は、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、その事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、本研究は、2つの研究課題を設定した。1つは、I. 光学的手段による調節の緊張緩和に基づく眼精疲労の軽減もしくは治療の方法を検討する事であり、2つ目は、II. GUIの1つとしてこれらからさらに普及が予測される立体映像鑑賞での眼精疲労を発生しにくい両眼視差量を探る事である。

I. 光学的視覚刺激による調節緊張緩和の眼精疲労に対する効果

本研究では、調節・輻湊制御系を介した光学的視覚刺激装置を新たに考案し、調節緊張の緩和が、眼精疲労の軽減または治療に有用であることを視覚負荷実験によって検討する。

I.1では、調節制御系のみを刺激することで調節緊張の緩和を促す方法を試みた。また、次の研究I.2では、I.1での方法にさらに改良を加え、調節系への刺激に輻湊・開散制御系への刺激が連動されて、より良く調節への緊張緩和がなされるような装置を試作した。

I.1 調節制御系への刺激による緊張緩和の方法

本装置は、屈折測定部と視標提示部及び制御部からなる(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、オートレフと略す)には、Badalの光学系に基づいた視標提示部(図2)があり、この光学系内には風景画像(図3)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する。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。オートレフと視標提示部は、コンピュー



図1 調節緊張緩和装置の概観



図2 視標提示部の内部

Dm: ダイクロイックミラー, L: Badal レンズ系, T: 風景視標

ター(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移動に対する等速度制御がこのPCによって行われる(図4)。

視標提示部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オートレフによって求め、調節遠点の位置を決定する。両眼それぞれにおいて、両遠点位置から+0.5 D遠視側に視標を設定



図3 視標提示部内に組み込まれている風景画像

視角：32.5°，輝度：中央の木；約 4 cd/m²，緑色，周辺空；約 40 cd/m²，ほぼ青色，周辺の畑；約 8 cd/m²，ほぼ緑色

し、その遠方位置を視標移動の出発点として、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する。その位置で1秒間停止させた後、再び同様の速度で前述の+0.5 D の遠方位置まで移動し、その位置で2.5秒間停止させる。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みるように指示したので、遠近の視標移動は全部で16周期となった。この間、優位眼の屈折度の変化が200 ms に1回の割合でSpeedy-1によって測定され、1周期分に得られた被験者の屈折値の平均をPCによって求めた。

視標提示の n 番目の周期に対する被験者の平均屈折値が、 $n-1$ 番目の平均屈折値より+側に偏位した場合には、視標提示の $n+1$ 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提示した。平均屈折値が、変化のなかった場合とその値が-方向への偏位の場合、および最初に測定された遠点位置より遠方に偏位しなかった場合はそのままの提示条件を保った。つまり、被験者の屈折値の+偏位に応じたフィードバックをかけることによって、光学的に毛様体筋の緊張を緩解させ、被験者の近視化した調節遠点をより遠方化させることを試みた。

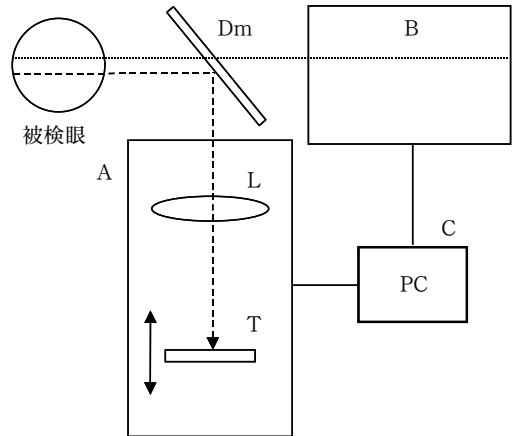


図4 装置の模式図

A：視標（遠方化刺激）提示部，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

コンピューター（PC）によって視標提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。

I.1.1 実験の流れ

視覚負荷実験の流れを図5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15分間与え、その直後に今回考案した遠方化刺激を2分間与えた。遠方化刺激終了と同時に、調節ステップ応答測定並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。実験終了後、装置を施行した結果、視覚負荷後の調節の緊張が緩和された群（遠方化群と呼ぶ）と緊張緩和がなされなかった群に群別を行い、両群においてそれぞれの検査項目のPre 値とPost 値の比較を行った。前者の群を遠方化群と呼び、後者の群を近方化群と呼ぶ。

I.1.2 視覚負荷

視覚負荷は、明らかに眼疲労の訴えの上昇と、調節機能の低下が確認されている以下の方法²³⁾で与えた。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

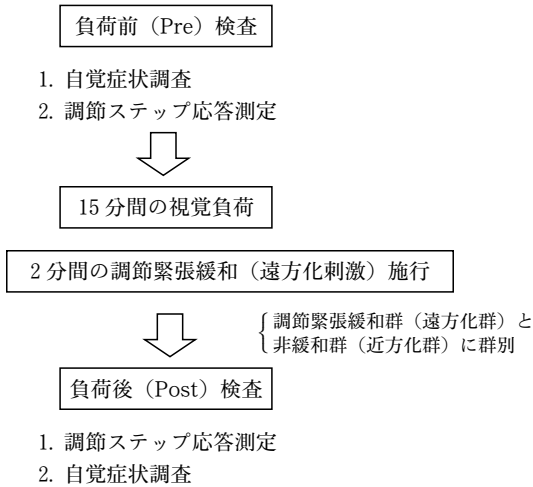


図5 実験の流れ

ローム RDS (random-dots stereogram) 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 TFT (thin film transistor) アクティブマトリックス方式による透過型 TN (twisted nematic) 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ー処理 (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、正三角形の三種類を用意した。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^{23), 24)}の結果から、調節機能の低下が示された 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 1 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。

I.1.3 測定項目

I.1.3.1 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、測定機内の近方視標と遠方視標の呈示時間は、それぞれ 5 秒

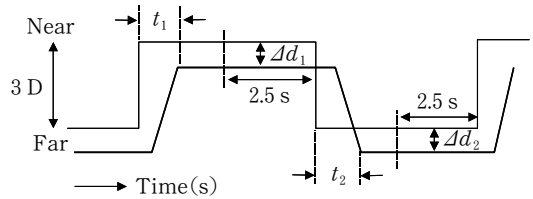


図6 調節ステップ応答波形の解析

t_1 : 調節緊張時間, t_2 : 調節弛緩時間, Δd_1 : 近方調節 lag, Δd_2 : 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

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 BX 2, 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 1 つの平均波形とした。この平均波形から、調節緊張時間 (t_1) と調節弛緩時間 (t_2), 近方調節 lag (Δd_1), 遠方調節 lag (Δd_2) の 4 項目を計測した (図 6)。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^{6), 7), 20), 25), 26)}。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近方視標位置との差を計算し、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の差を計算した。

I.1.3.2 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から、段階評定法²⁷⁾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)²⁸⁾および鈴村の眼精疲労の鑑別診断用自覚症状項目²⁹⁾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)瞼がぴくぴくする (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5段階を用い、各項目毎に段階数値に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、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○を付けさせた。調査は、負荷前の調節測定の前に1回と、負荷終了の後、遠方化刺激後、調節測定終了後に1回行った。

I.1.4 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がなく、赤外線オプトメーター (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22例を対象とした。年齢層は20歳~22歳 (20.8±0.9歳, 平均値±標準偏差) であった。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、0D~-1.5D (-0.76±0.63D, 平均値±標準偏差) であった。乱視度数は、いずれの被験者も0Dから-0.5D以内であり、放射状の乱視表でも濃淡を自覚しなかった。全ての被験者は、実験に使用した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。

I.1.5 遠方化刺激による屈折変動と群別

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1次近似曲線として計算した。この近似曲線の傾きが、+になった場合には、遠点は遠方に偏位し調節緊張が緩和されたと判断し、逆に-値になった場合は、遠点は近方に

偏位し調節は緊張したと判断した。前者を遠方化群、後者を近方化群として群別し、各群において調節機能と自覚症状の変化を検討した。

I.1.6 統計処理

両群それぞれにおいて、調節緊張・弛緩時間、近方・遠方調節lag、自覚症状ともに負荷前の値 (Pre) と負荷ならびに遠方化刺激後の値 (Post) に対して、対応のあるt検定 (両側) を実施し、危険率5%未満を有意差ありと判定した。両群間でのPre値の差については、対応のないt検定 (両側) を用いて同様の判定規準とした。

I.1.7 結果

I.1.7.1 遠方化群と近方化群

遠方化刺激による屈折値の推移例を図7に示す。図7上は負荷後の遠方化刺激によって、屈折値の変化が遠方にシフトした例であり、屈折値の変動から計算された一次近似曲線は、 $y = 0.0033x$

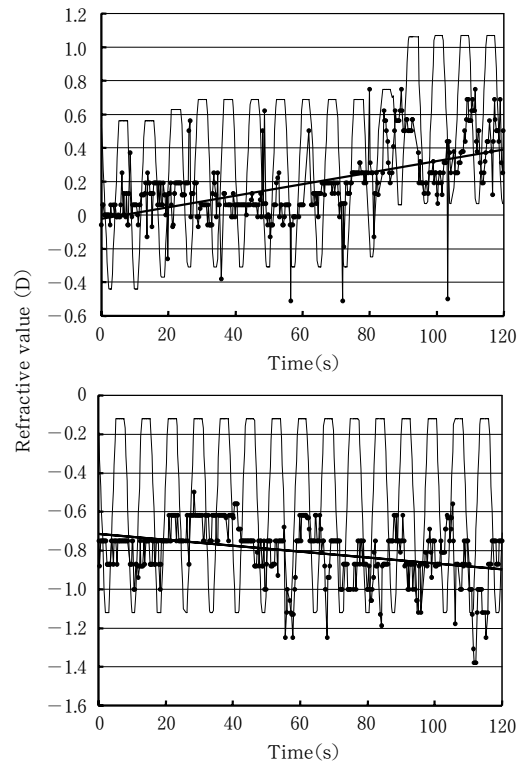


図7 遠方化刺激時による屈折値の変化とその近似直線上: 遠方に偏位したものの1例, 下: 近方に偏位したものの1例

正弦波様の細線: 視標呈示装置 (図4のA) 内の視標 (図4のT)の動き, ドット線: 被験者の屈折値の推移

-0.015 となり、調節の緊張が緩和された。逆に図 7 下の例では、一次近似曲線は $y = -0.0017x - 0.709$ と近似され傾きは - となり、調節遠点が近方化し調節の緊張は緩和されなかった。同様の方法によって近似曲線の傾きを計算した結果、全 22 例のうち負荷直後の遠方化刺激によって、傾きが + 側であった遠方化群は 10 例あり、逆に - であった近方化群は 12 例であった (表 1)。

1.1.7.2 調節機能の変化

表 2 に両群での負荷と遠方化刺激の後の調節時

間の変化を示す。遠方化群の平均調節緊張時間は、Pre で 0.99 秒、Post で 1.08 秒と有意な変化はなかった。調節弛緩時間についても、Pre 1.00 秒、Post 1.00 秒と全く変化はなかった。しかし、近方化群での、弛緩時間は Pre 1.03 秒、Post 1.08 秒で有意差はなかったが、緊張時間は Pre が 0.96 秒から Post が 1.15 秒へと有意に延長した ($P = 0.0002$)。

表 3 に両群での調節 lag の Pre と Post での変化を示す。近方視標に対する近方調節 lag につい

表 1 遠方化刺激による屈折値の変動から層別された 2 群

群	Sub. #	年 齢	一次近似式	屈折値の変化 (D)
遠方化	1-1	20	$y = 0.0010x - 2.653$	+0.1279
	1-2	22	$y = 0.0006x - 0.413$	+0.0757
	1-3	22	$y = 0.0011x + 0.199$	+0.1372
	1-4	20	$y = 0.0003x - 0.335$	+0.0379
	1-5	20	$y = 0.0057x - 3.360$	+0.7298
	1-6	22	$y = 0.0009x + 0.184$	+0.1113
	1-7	22	$y = 0.0033x - 0.015$	+0.4173
	1-8	20	$y = 0.0002x - 0.580$	+0.0253
	1-9	20	$y = 0.0006x - 0.787$	+0.0772
	1-10	20	$y = 0.0026x - 1.209$	+0.1320
Mean ± SD				+0.1872 ± 0.2199
近方化	2-1	20	$y = -0.0021x - 0.791$	-0.2459
	2-2	21	$y = -0.0009x - 1.399$	-0.1126
	2-3	20	$y = -0.0024x - 0.709$	-0.2986
	2-4	20	$y = -0.0016x - 2.555$	-0.2005
	2-5	22	$y = -0.0005x - 0.481$	-0.0628
	2-6	22	$y = -0.0006x + 0.374$	-0.0748
	2-7	21	$y = -0.0038x - 1.792$	-0.4700
	2-8	20	$y = -0.0017x - 0.709$	-0.1993
	2-9	20	$y = -0.0012x - 2.778$	-0.1531
	2-10	22	$y = -0.0026x - 0.265$	-0.3162
	2-11	22	$y = -0.0003x - 0.392$	-0.0390
	2-12	20	$y = -0.0031x - 0.834$	-0.3945
Mean ± SD				-0.2139 ± 0.1362

表 2 両群での負荷と遠方化刺激の前 (Pre) 後 (Post) での調節時間の変化

* $P = 0.0002$, NS not significant

群	調節緊張時間 (s)		調節弛緩時間 (s)	
	Pre	Post	Pre	Post
遠方化 (n=10)	0.99 ± 0.20	1.08 ± 0.31	1.00 ± 0.15	1.00 ± 0.20
近方化 (n=12)	0.96 ± 0.15	1.15 ± 0.19	1.03 ± 0.12	1.08 ± 0.17

表 3 両群での負荷と遠方化刺激の前 (Pre) 後 (Post) での調節 lag の変化

* $P = 0.0024$, NS not significant

群	近方調節 lag (D)		遠方調節 lag (D)	
	Pre	Post	Pre	Post
遠方化 (n=10)	0.840 ± 0.359	0.891 ± 0.266	0.139 ± 0.269	0.197 ± 0.259
近方化 (n=12)	1.015 ± 0.305	1.044 ± 0.314	0.105 ± 0.343	0.208 ± 0.386

表4 両群での負荷と遠方化刺激の前 (Pre) 後 (Post) での自覚症状の平均評定点の変化

自覚症状全 15 項目のうち、両群を通じて Post に評定点の有意に上昇した項目

*1 P=0.0445, *2 P=0.0015, *3 P=0.0271, *4 P=0.0210, *5 P=0.0081, NS not significant

群	眼が疲れる		眼が痛い		眼が重い		眼が乾く	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
遠方化 (n=10)	1.00±0.00	1.70±1.06 ^{NS}	1.00±0.00	1.50±0.85 ^{NS}	1.00±0.00	1.60±0.97 ^{NS}	1.20±0.42	1.90±0.99 ^{*1}
近方化 (n=12)	1.00±0.00	2.67±1.37 ^{*2}	1.00±0.00	1.58±0.79 ^{*3}	1.00±0.00	1.75±0.97 ^{*4}	1.08±0.29	2.17±1.27 ^{*5}

では、遠方化群で平均+0.840 D から+0.891 D、近方化群で平均+1.015 D から+1.044 D へと、いずれも有意な変化はなかった。遠方調節 lag については、遠方化群では、Pre+0.139 D、Post+0.197 D と有意差はなかったが、近方化群では、Pre+0.105 D から Post+0.208 D へと有意に lag が増大した (P=0.0024)。

I.1.7.3 自覚症状の変化

表4に両群での自覚症状の平均評定点の変化を示す。自覚症状全 15 項目のうち、両群を通じて Post に評定点の有意に上昇した項目は 4 項目であった。遠方化群では、「眼が乾く」の評定点が有意に上昇したのみで、他の項目には有意な変化はなかった。近方化群では、「眼が疲れる」の評定点は、Pre 1.00 から Post 2.67 へ上昇し (P=0.0015)、「眼が痛い」は、Pre 1.00 から Post 1.58 (P=0.0271) へ、「眼が重い」は、Pre 1.00 から Post 1.75 へ (P=0.0210)、「眼が乾く」は Pre 1.08 から Post 2.17 へと有意に上昇した (P=0.0081)。

I.1.8 小 括

今回の方法で、遠方化刺激後調節遠点が近方に偏位した近方化群では、調節緊張時間の延長と調節 lag が増大し、明らかに調節機能の低下が起こった。また、「眼が疲れる」と「眼が痛い」、「眼が重い」、「眼が乾く」訴えの自覚症状が上昇した。これに反して、遠点が遠方に偏位した遠方化群では、調節機能の低下も「眼が乾く」訴え以外のいずれの自覚症状の評定点の上昇も起こしていない。自覚症状と調節機能の他覚的所見から、遠方化群では視覚負荷による眼精疲労が発現しなかった。

これらの結果から、明らかに調節の緊張緩和は、眼精疲労の発現に対して回復させる効果があった

といえる。しかし、遠方化した例は 22 例中 10 例にとどまり、今回の方法では約 45% に調節緊張の緩和効果を認めたのみであった。調節緊張の緩和が、視覚負荷によって発症する眼精疲労の軽減や治療に有効なのであるから、さらに緊張緩和を助長する方法を考える必要がある。

そこで、次の I.2 の研究では、調節の緊張緩和をより促進する視覚刺激の与え方を考案し装置の改良を行い、その効果の良否を実験的に確認した。

I.2 輻湊・開散制御系への刺激を伴う調節刺激の方法

輻湊・開散刺激を与えるために、I.1 で試作した装置の視標呈示部内の両視標の動きに水平方向の成分を加えた。これによって見かけの遠点を起点として、視標は遠方または近方への遠近方向に移動しながら水平方向の移動が加わり、単一視しようとする衝動によって調節への刺激と同時に輻湊・開散への刺激が与えられる。視標の移動は、具体的には図8に示すように、被験者の両眼の屈折度より求めた各調節遠点の位置を起点として、+0.2 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 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 秒間調節及び輻湊・開散制御系への刺激を与えた。

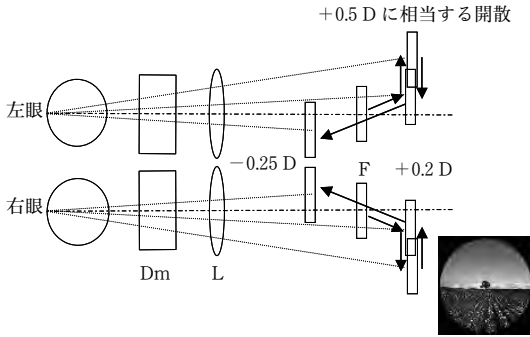


図8 輻湊・開散刺激を与える視標の動き

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

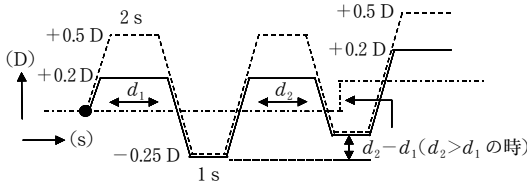


図9 視標の動作制御原理

d_1, d_2 ：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）

図9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200ms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、視標の移動を一定時間停止させるが、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、調節及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。

1.2.1 実験の流れ

視覚負荷実験の流れを図10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15分間与え、その直後に今回改良し

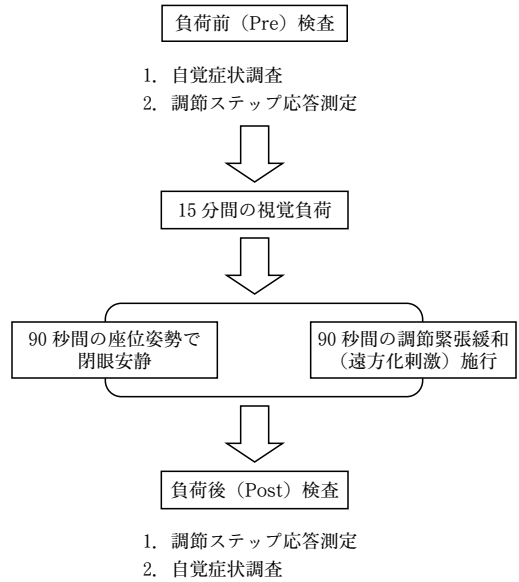


図10 実験の流れ

た遠方化刺激を90秒間与えた。遠方化刺激終了と同時に、調節ステップ応答測定並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。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、遠方化刺激の代わりに、視覚負荷を行った場所で座位姿勢で閉眼安静の状態を90秒間与えた。前者の遠方化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。

1.2.2 視覚負荷

視覚負荷は、実験1.1と全く同様であった。

1.2.3 測定項目

測定項目は、実験1.1と全く同様に調節ステップ応答と自覚症状調査であった。調節応答波形の解析は、調節緊張・弛緩時間と近方・遠方調節lagを各被験者について解析したが、その他に全体の応答傾向を観察するために、被験者全例の応答波形の平均を求めて比較した。

1.2.4 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8例を対象とした。年齢層は19歳～22歳（20.6±1.2歳、平均値±標準偏

差)であった。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、 $-0.64\text{ D}\sim+0.5\text{ D}$ の範囲であった。乱視度数は、いずれの被験者も $0\text{ D}\sim-0.64\text{ D}$ 以内であり、放射状の乱視表でも濃淡を自覚しなかった。全ての被験者は、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。

I.2.5 統計処理

両群それぞれにおいて、調節緊張・弛緩時間、近方・遠方調節 lag, 自覚症状ともに負荷前の値 (Pre) と負荷ならびに遠方化刺激後の値 (Post) に対して、対応のある t 検定 (両側) を実施し、危険率 5% 未満を有意差ありと判定した。

I.2.6 結果

I.2.6.1 調節機能の変化

図 11 に両群での調節ステップ応答の測定結果を示す。両群とも視覚負荷後、調節緊張・弛緩時間は延長し、近方・遠方調節 lag も増大している。しかし、それらの変化量は、刺激群よりも対照群の方が大であるように観察される。

表 5 に両群での負荷と遠方化刺激または閉眼安静の後の調節時間の変化を示す。刺激群の平均調節緊張時間は、Pre で 1.26 秒、Post で 1.40 秒と有意な変化はなかった。調節弛緩時間についても、Pre 1.43 秒、Post 1.39 秒と有意差はなかった。しかし、対照群では、緊張時間が Pre 1.26 秒、Post 1.62 秒、弛緩時間は Pre が 1.49 秒から Post が 1.63 秒へといずれも有意に延長した (それぞ

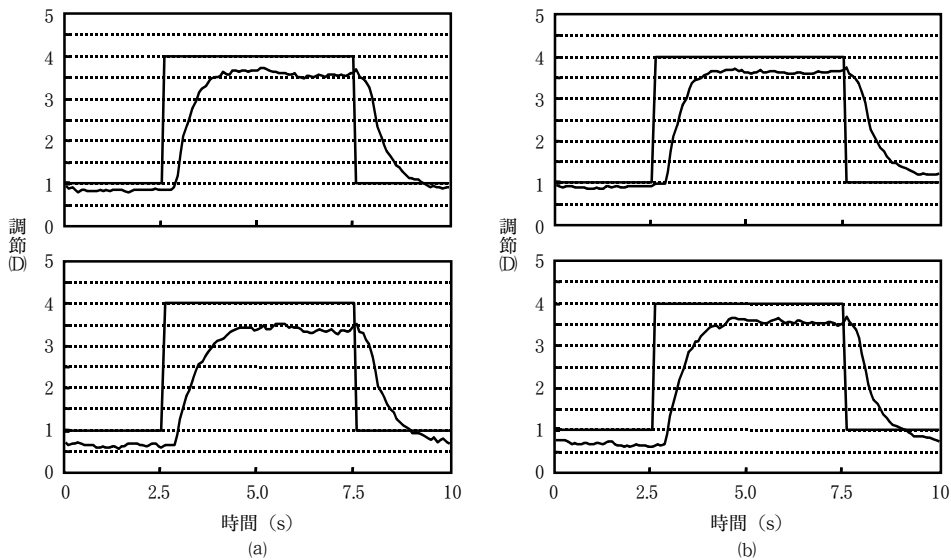


図 11 両群での調節ステップ応答波形の変化

(5 波形 / 1 例 \times 8 例の総平均波形)

(a): 対照群 (b): 刺激群

上段: 負荷前 下段: 負荷後

表 5 両群での調節時間の変化

*1 $P=0.0114$, *2 $P=0.0166$, NS not significant

群	調節緊張時間 (s)		調節弛緩時間 (s)	
	Pre	Post	Pre	Post
対照	1.26 ± 0.34	1.62 ± 0.44 *1	1.49 ± 0.51	1.63 ± 0.51 *2
刺激	1.26 ± 0.29	1.40 ± 0.44 NS	1.43 ± 0.55	1.39 ± 0.53 NS

表 6 両群での調節 lag の変化

*1 $P=0.0415$, *2 $P=0.0176$, NS not significant

群	近方調節 lag (D)		遠方調節 lag (D)	
	Pre	Post	Pre	Post
対照	0.502 ± 0.613	0.652 ± 0.561 *1	0.155 ± 0.267	0.323 ± 0.270 *2
刺激	0.570 ± 0.708	0.518 ± 0.602 NS	0.154 ± 0.491	0.257 ± 0.321 NS

表7 両群での自覚症状の平均評定点の変化

自覚症状全 15 項目のうち、両群を通じて Post に評定点の有意に上昇した項目

*1 P=0.0054, *2 P=0.0282, *3 P=0.0411, NS not significant

群	眼が疲れる		眼が重い		眼が乾く	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
対 照	1.13±0.35	2.63±1.06 ^{*1}	1.13±0.35	2.38±1.30 ^{*2}	1.25±0.46	2.13±1.25 ^{*3}
刺 激	1.13±0.35	1.88±0.99 ^{NS}	1.38±0.74	1.63±0.79 ^{NS}	1.50±0.76	1.50±0.76 ^{NS}

れ P=0.0114, P=0.0166)。

表6に両群での調節 lag の Pre と Post での変化を示す。近方視標に対する近方調節 lag については、刺激群では、近方調節 lag が、平均+0.570D から+0.518 D、遠方調節 lag が平均+0.154 D から+0.257 D へと、いずれも有意な変化はなかった。しかし、対照群では、近方 lag が、+0.502 D から+0.652 D へ、遠方 lag が+0.155 D から+0.323 D へと有意に増大した（それぞれ P=0.0415, P=0.0176）。

I.2.6.2 自覚症状の変化

表7に両群での自覚症状の平均評定点の変化を示す。自覚症状全 15 項目のうち、両群を通じて Post に評定点の有意に上昇した項目は 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（P=0.0054）、「眼が重い」は、Pre 1.13 から Post 2.38 へ（P=0.0282）、「眼が乾く」は Pre 1.25 から Post 2.13 へと有意に上昇した（P=0.0411）。しかし、刺激群ではこれら 3 項目の訴えも、また、その他の 12 項目の訴えも有意な上昇はなかった。

I.2.7 小 括

15 分の視覚負荷の後、閉眼安静を与えただけでは、調節緊張・弛緩時間の延長や、近方・遠方調節 lag の増大は回復せず、眼精疲労に関連する自覚症状である「眼が疲れる」、「眼が重い」、「眼が乾く」訴えの評定点も上昇したままとなり、調節機能低下に基づく眼精疲労が明らかに軽減されなかった。しかし、今回改良した装置を施行した場合では、視覚負荷によって生じる調節機能の低下と自覚症状の上昇を回復させ、眼精疲労に対して改善効果の高いことが分かった。

II. 立体像注視時の調節応答特性からみた両眼視差の許容量について

立体像を再生する方式には、大別すると二眼式表示（二眼式立体ディスプレイ）と三次元表示（再生像型立体ディスプレイ）と呼ばれる二通りがある。二眼式表示をさらに分類すると、アナグリフ方式や偏光フィルター方式、液晶シャッターを利用した時分割方式など眼鏡を用いる方式と、レンティキュラー方式やパララックス・バリア方式などの眼鏡を用いない方式がある。これらの方式に共通した点は、いずれの場合も人為的に両眼視差（以下、視差）を用いていることである。

人為的に視差を誘起して立体像を知覚させた場合、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³⁰⁾⁻³²⁾。そのため二眼式表示による立体映像の鑑賞が視機能へおおよそ影響や、眼精疲労については多くの研究がなされている。特に眼鏡を使用する方式では、液晶シャッター眼鏡を用いる時分割方式³³⁾⁻³⁴⁾ やヘッド・マウント・ディスプレイ (head mounted display; HMD)³⁵⁾⁻³⁷⁾ を使用した立体映像鑑賞による視機能への影響についての報告がある。一方、二眼式表示方式のうち眼鏡を使用しないいわゆる裸眼で立体像を知覚する方式に関しては、レンティキュラー方式によって立体像を認識した場合の視機能への影響を調べた報告がある³⁸⁾。しかし、いずれの報告も、視機能に悪影響を及ぼさない視差の至適条件についてはふれられていない。

そこでIIでは、立体ディスプレイ鑑賞時の調節ステップ応答を記録することで、調節の動的特性から、視機能に悪影響を及ぼさない視差の条件について検討する。

II.1 立体像注視時の調節測定法

調節の測定には赤外線オプトメータを用い、1 m の距離に遠方視標を 50 cm の距離に近方視標を設定し（調節刺激量：1 D）、ハーフミラーを介して 10 秒間毎交互にトリガーをかけ、それぞれ 4 回ずつ呈示して右眼の調節ステップ応答を測定した（図 12）。測定は薄暮室で行い、遠近両視標のうちいずれか一方は消灯していたので、両視標が重複して視野内に存在することはなかった。赤外線オプトメータからのアナログ信号は、コンピューター（PC-9801 BX 2, 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。

遠方視標は、緑色の明発光体（ 3 cd/m^2 ）の上に黒色のスターバーストをレトラセットで作図し用いた（視角： 1.7° ）。近方視標は、10.4 inch パララックス・バリア方式三次元（3-D）ディスプレイ（THD-10 PN 3, SANYO）上に中央部が

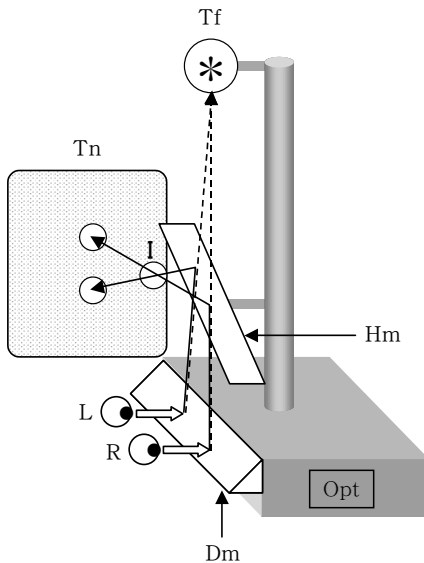


図 12 調節ステップ応答の測定系の模式図

Tf：遠方視標，緑色の明発光体を背地とする黒色のスターバースト，視距離 1 m

Tn：近方視標，パララックスバリア方式 3-D ディスプレイ，視距離 0.5 m

Opt：赤外線オプトメーター

Dm：ダイクロイックミラー

Hm：ハーフミラー

I：知覚される立体像

実線と点線：右眼（R）と左眼（L）の視線

視角 1° の円形の黒抜きとなっている視角 2° の白色の円図形（ 3 cd/m^2 ）を呈示し、背地にはモノクロームのランダム・ドットを用いた。被験者には、遠方視標呈示に際してはスターバーストの中心を、近方視標の場合には円図形の中央を固視し、いずれの視標の切り替えに対しても、即座に明視を行いつつ明視状態の保持を指示した。

円図形の視差条件は 7 通りとした。3-D ディスプレイ面から近方に飛び出させる前方像の場合には、交差性に $+1.5^\circ$ と $+1.0^\circ$ 、 $+0.5^\circ$ の視差をとり、遠方に奥行きをもたせる後方像の場合には、同側性に -1.5° と -1.0° 、 -0.5° の視差とし、立体表示をしないディスプレイ面上に表示する場合には視差を 0° とした。瞳孔間距離を 60 mm とした時に理論上知覚される立体像の位置と輻湊角（MA, meter angle）は、視差 $+0.5^\circ$ では 0.47 m；2.13 MA，視差 $+1.0^\circ$ では 0.44 m；2.27 MA，視差 $+1.5^\circ$ では 0.41 m；2.44 MA であり、視差 -0.5° では 0.54 m；1.85 MA，視差 -1.0° では 0.59 m；1.69 MA，視差 -1.5° では 0.64 m；1.56 MA となった。視差 0° は、0.5 m で 2.0 MA である。

立体視標を固視する時の視線方向は、右眼の場合では遠方視標，近方視標のいずれを固視した時も視標面に対して常に直交し、赤外線オプトメータの光軸とも一致して視線移動はなかった。左眼の視線方向は、本測定の前に行った立体像の融像確認時の肉眼的観察では、立体表示をしない時（視差 0° ）の視線に比較して、交差性の場合にはより内よせ側に、逆に、同側性の場合にはより外よせ側に移動することを確認した（図 13）。

10 秒間ずつ 4 回の近方視標の呈示条件は（図 14）、 $-1.5^\circ \sim +1.5^\circ$ の 7 通りであったため、7 例の対象（19～22 歳， -0.4 D より強い屈折異常なし）に対して被験者毎に測定順番を違え測定順序効果を相殺した。ひとつの呈示条件での測定には 80 秒を要し、各条件の測定の合間に 5 分間の休止をはさんだ。休止は赤外線オプトメータの顎台から頭部をはずし、その場で座位姿勢のまま自然視の状態を保った。

II.2 調節応答の解析法

記録された調節ステップ応答の解析は、応答の

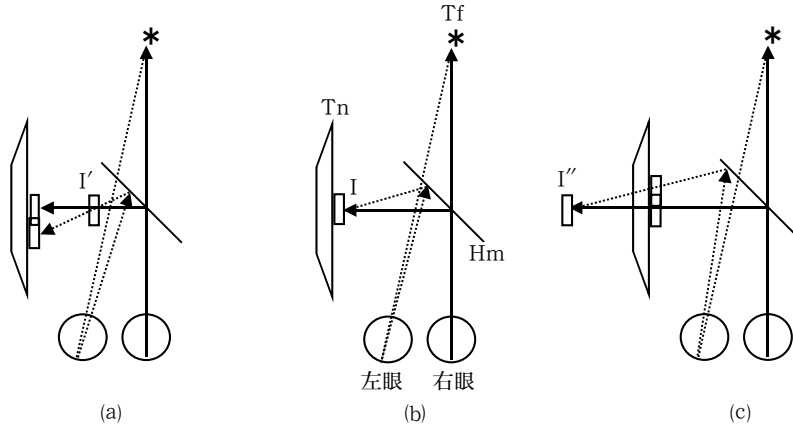


図 13 視標呈示に伴う視線移動

(a)：視差を交差性にした場合，(b)：視差を 0° とした場合，(c)：視差を同側性にした場合
 Tf：遠方視標，緑色の明発光体を背地とする黒色のスターバースト
 Tn：近方視標，パララックスバリア方式3-Dディスプレイ
 Hm：ハーフミラー
 I：3-Dディスプレイ面上にある呈示像
 I'：立体として知覚される前方像
 I''：立体として知覚される後方像
 実線：測定眼である右眼の視線，点線：左眼の視線

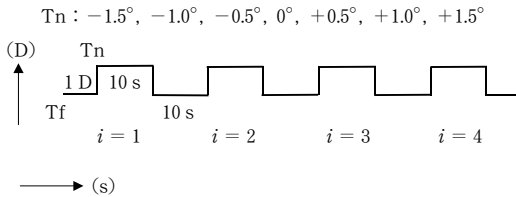


図 14 調節ステップ刺激呈示条件

遠方視標 (Tf)，近方視標 (Tn) を各 4 回，10 秒間ずつ呈示
 近方視標の視差条件は -1.5° ， -1.0° ， -0.5° ， 0° ， $+0.5^\circ$ ， $+1.0^\circ$ ， $+1.5^\circ$ の 7 条件

全体の傾向を観察するために，測定された波形の平均波形を算出した。視差条件毎に得られる平均波形は，1 条件について，(4 波形/1 例) \times 7 例の合計 28 波形の平均であった。次に，図 15 に示すように遠方視標を注視している時の調節応答位置に対して，近方視標である立体視標を注視している時の調節応答位置の差である調節応答量 (Δd ; D) を個々の被験者毎で計算した。両調節応答位置は，視標の切り替えから 5 秒が経過し，遠近視標の切り替わりによるダイナミックな調節反応の影響がなく，かつ立体像の知覚が確実に成立したと考えられるそれぞれ後半 5 秒間の連続する屈折値の平均とした。各条件で 4 波形が得られ

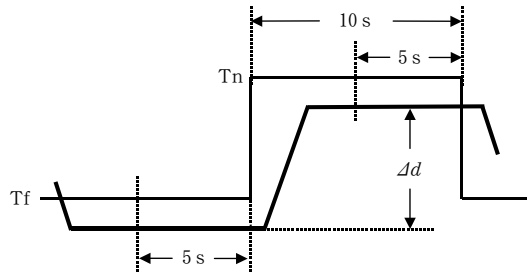


図 15 得られた調節ステップ応答波形の解析法の模式図

細線：近方視標 (Tn) と遠方視標 (Tf) の刺激位置
 太線：調節ステップ応答波形
 遠方視標を注視している時の調節応答位置に対して，近方視標を注視している時の調節応答位置の差である調節応答量 (Δd ; D) を後半 5 秒間で計算

るので，波形毎に調節応答量を計測し 4 データの平均値を計算した。

II.3 結果

II.3.1 調節ステップ応答の平均波形

図 16 に各呈示条件での総平均波形を示す。調節応答は，視差 -1.5° から $+1.5^\circ$ となるに従い増大した。視差 0° を含め，視差 $-1.5^\circ \sim +0.5^\circ$ まででは，3-Dディスプレイ面に対する理論的調節位置である $+2.0$ Dよりも，反応した調節が少ない

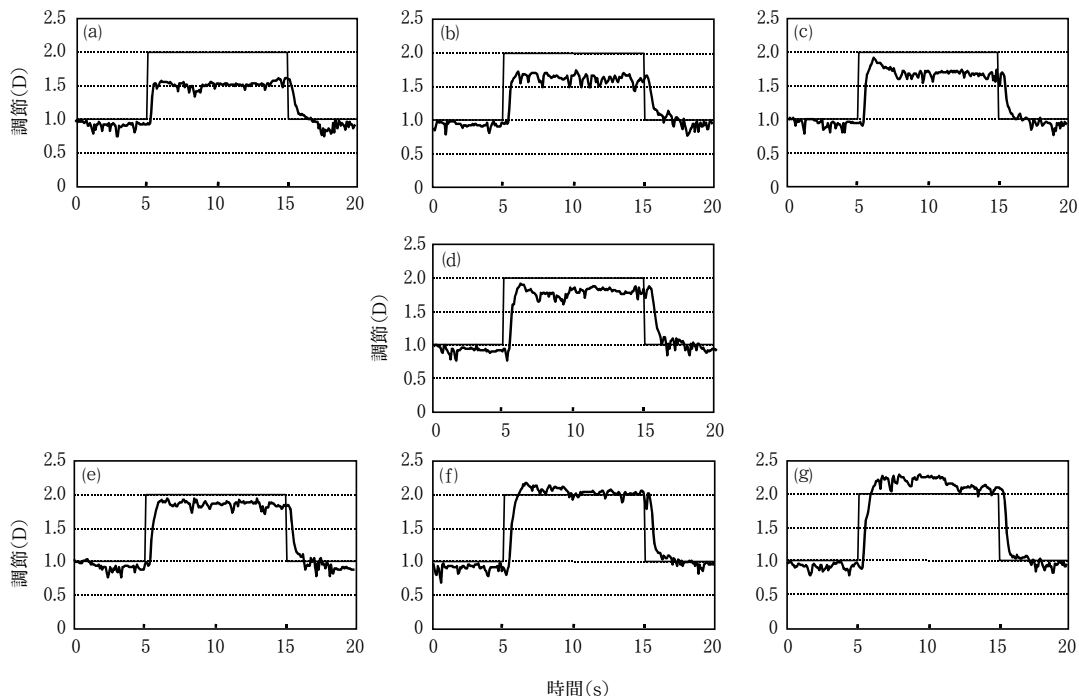


図 16 各視差での立体像注視時の平均調節応答波形 4 波形/1 例×7 例=28 波形の平均
 視差, 輻湊角は (a)−1.5°, 1.56 MA (b)−1.0°, 1.69 MA (c)−0.5°, 1.85 MA (d)0°, 2.0 MA
 (e)+0.5°, 2.13 MA (f)+1.0°, 2.27 MA (g)+1.5°, 2.44 MA

accommodation lag (調節 lag) が観察された。しかし、視差が+1.0°と+1.5°の場合には、+2.0 D よりも過剰な反応である accommodation lead (調節 lead) が観察された。

II.3.2 各被験者の調節応答量

全例での調節応答量の平均値を図 17 に示す。総平均波形の結果と同様に、調節応答量は、視差−1.5°から+1.5°となるに従い増大していた。各視差条件での調節応答量の平均値±標準偏差は、視差−1.5°〜+1.5°まで、それぞれ 0.62±0.16 D, 0.65±0.11 D, 0.75±0.13 D, 0.86±0.11 D, 0.93±0.12 D, 1.06±0.12 D, 1.26±0.16 D と、視差が同側性から交差性になるにつれて大きくなった。回帰分析の結果、 $y=0.463x^2-1.12x+1.23$ の 2 次多項式で有意に近似された ($R^2=0.759$, $P<0.0001$)。

II.4 小 括

調節は、理論的には視対象の位置に対して、その距離の逆数 (m^{-1} , D) に相当する量がなされ

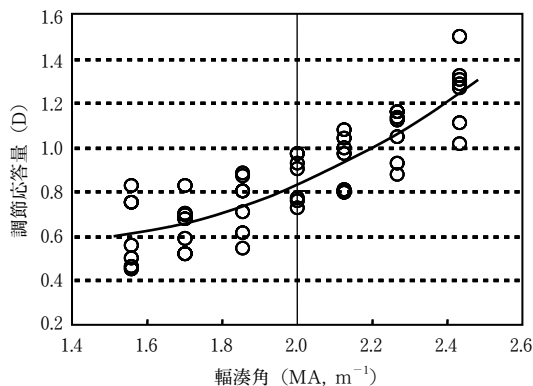


図 17 全例の各視差条件 (輻湊角, MA) での調節応答量

実線：二次回帰曲線 ($y=0.463x^2-1.12x+1.23$, $R^2=0.759$, $P<0.0001$)

るはずであるが、実際の調節は計算される調節量より 0.5~0.75 D³⁹⁾ を上限として定常誤差を生じ、視対象が明視されている。この定常誤差は、一般に accommodation lag (調節 lag) として視対

象の位置に対する調節より少なくなされる。つまり、視対象の距離より遠方に調節がなされ、視対象の共役点は網膜の後方において明視が保持される。調節は、調節 lag を示すのが通常の生理様態である。視差 0° や $+0.5^\circ$ 及び同側に与えられた場合には、いずれも調節 lag の状態で立体像を知覚し、調節の生理様態に一致する。しかし、視差 $+1.0^\circ$ と $+1.5^\circ$ の場合は、調節の量的問題からは十分明視域内で知覚していることとなるが、定常誤差の方向は、逆に accommodation lead (調節 lead) の状態になっていた (図 16)。

調節 lag を生じている時の網膜面上の分散像方向を正しいとするなら、調節 lead の状態では、結像点は網膜の前方にあり、網膜面上の分散像は調節 lag の状態とは逆になり、視覚情報処理の観点からいえば、情報処理の方向性は異なると考えられる。調節の生理が lag の状態であることからすれば、調節 lead の状態は、視覚情報処理に混乱を与えるものと推測される。従って、調節の生理様態からすれば、交差性に視差 $+1.0^\circ$ 以上をつけることは、避けなければならないと考えられる。

ま と め

近年の IT 化によって、視覚刺激はより複雑となり眼精疲労が多発する。VDT 作業が広く普及し始めた時も、眼精疲労が問題となった。その原因を特定するのはなかなか容易ではなく、個々の事例に則した原因をその度に見つけ出し除去していく方法が取られ、多方面に渡る研究成果が報告された。

その中でも、調節や瞳孔、輻湊機能の近見反応に関わる諸機能の研究結果から、研究者のほぼ一致した結論として、VDT 作業者の眼精疲労は副交感神経系の異常な興奮が原因しているとされた。IT 化による眼精疲労の発症原因も VDT 作業の延長にあると考えられ、やはり、副交感神経系の作用が強く現れる。近見反応のうち調節は、緊張する傾向に向かう。従って、IT 時代の眼精疲労の軽減や治療に当たっても、やはり、調節の緊張を如何に緩和するか、また、如何に調節を緊張させない IT の環境作りがなされるかといった事が重要な課題であると考えられた。

そこで、今回の研究の 1 つは、調節緊張が原因として発症する眼精疲労に対して有効な軽減策または治療法として、光学的に調節の緊張を緩和する方法を考案し、他の 1 つは、立体映像表示装置での眼精疲労を発症しにくい表示条件を調節緊張との関連から検討して決定する事であった。前者については、2 つの装置を実際に試作し負荷実験を行った結果、調節機能に由来する眼精疲労を軽減する非常に有用な効果を生んだ。また、後者については、両眼視差を用いた立体映像表示での視覚負担の少ない両眼視差量を示す事ができた。

【引用文献】

- 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) Gur S, Ron S: Does work with visual display units impair visual activities after work? Doc Ophthalmol 79 : 253-259, 1992.
- 4) Gur S, Ron S, Heicklen-Klein A: Objective evaluation of visual fatigue in VDU workers. Occup Med (Lond) 44 : 201-204, 1994.
- 5) Wolska A, Switula M: Luminance of the surround and visual fatigue of VDT operators. Int J Occup Saf Ergon 5 : 553-581, 1999.
- 6) 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.
- 7) Iwasaki T, Kurimoto S, Noro, K: The change in colour critical flicker fusion (CFF) values and accommodation times during experimental repetitive tasks with CRT display screens. Ergonomics 32 : 293-305, 1989.
- 8) Iwasaki T, Kurimoto S: Objective evaluation of eye strain using measurements of accommodative oscillation. Ergonomics 30 : 581-587, 1987.
- 9) 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.
- 10) Pigion RG, Miller RJ: Fatigue of accommodation: changes in accommodation after visual work. Am J Optom Physiol Opt 62 : 853-863,

- 1985.
- 11) Jaschinski-Kruza W: Visual strain during VDU work: the effect of viewing distance and dark focus. *Ergonomics* 31 : 1449-1465, 1988.
 - 12) Miwa T, Tokoro T: Asthenopia and the dark focus of accommodation. *Optom Vis Sci* 71 : 377-380, 1994.
 - 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) Nakamura Y: Measurement of pupillary unrest in eyestrain. *Jpn J Ophthalmol* 40 : 533-539, 1996.
 - 15) Ishikawa S: Examination of the near triad in VDU operators. *Ergonomics*. 33 : 787-798, 1990.
 - 16) Gratton I, Piccoli B, Zaniboni A, Meroni M, Grieco A: Change in visual function and viewing distance during work with VDTs. *Ergonomics* 33 : 1433-1441, 1990.
 - 17) 小島良宏, 青木 繁, 石川 哲 : VDT 作業における近見反応. *北里医学* 22 : 620-626, 1992.
 - 18) 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.
 - 19) Bullimore MA, Gilmartin B, Royston JM: Steady-state accommodation and ocular biometry in late-onset myopia. *Doc Ophthalmol* 80 : 143-155, 1992.
 - 20) Iwasaki T: Effects of a visual task with cognitive demand on dynamic and steady-state accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 13 : 285-290, 1993.
 - 21) 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.
 - 22) 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.
 - 23) 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.
 - 24) 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.
 - 25) Tucker J, Charman WN: Reaction and response times for accommodation. *Am J Optom Physiol Opt* 56 : 490-503, 1979.
 - 26) Culhane HM, Winn B: Dynamic accommodation and myopias. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40 : 1968-1974, 1999.
 - 27) 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.
 - 28) 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.
 - 29) 鈴木昭弘 : 眼疲労. *眼科* 23 : 799-804, 1981.
 - 30) 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.
 - 31) 梶田雅義 : 3D 映像と屈折調節. *神経眼科* 16 : 152-156, 1999.
 - 32) Ukai K, Kato Y: The use of video refraction to measure the dynamic properties of the near triad in observers of a 3-D display. *Ophthalmic Physiol Opt* 22 : 385-388, 2002.
 - 33) Cho A, Iwasaki T, Noro K: A study on visual characteristics of binocular 3-D images. *Ergonomics* 39 : 1285-1293, 1996.
 - 34) 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, 1997.
 - 35) 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.
 - 36) Wann JP, Rushton S., Mon-William M: Natural problems for stereoscopic depth perception in virtual environments. *Vision Res* 35 : 2731-2736, 1995.
 - 37) Morse SE, Jiang B: Oculomotor function after virtual reality use differentiates symptomatic from asymptomatic individuals. *Optom Vis Sci* 76 : 637-642, 1999.
 - 38) 玉木光子, 奥山文雄, 所 敬, 吉井正一, 池田貴司, 小山田健二, 金谷経一 : 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.
 - 39) Duke-Elder S, Abrams D: Ophthalmic optics and refraction. Duke-Elder, S. (ed), *System of Ophthalmology* Vol. 5, 474-476, Henry Kimpton, London, 1970.

トライイリスを用いた IT 眼症の評価

石川 均・清水 公也・堀部 円

(北里大学眼科)

浅川 賢・陶山 秀夫

(国際医療福祉大学付属熱海病院眼科)

石川 哲

(北里研究所病院環境医学センター)

はじめに

近年の IT 関連技術の進歩はめざましく、10 年前には FAX を用いてやり取りしていたものがコンピュータを利用したインターネット、電子メールへと形を変えた。その後、さらに携帯電話の普及に伴い、時間、場所を選ばずに情報を入手することが可能となった。また、その普及率も大きくほとんどすべての人、小児にいたるまでこのような機器を所持するようになってきた。さらに最近では周囲が非常に困難な状況、すなわち満員電車内などでもこれらの機器を眼前に持ち作業する者も見受けられる。

我々はコンピュータの出現と共に新たな現代病すなわち VDT 症候群と向き合うこととなったが情報機器の進歩に伴い IT 機器の人体に与える悪影響も少しながら変化し、その病名も VDT 症候群、テクノストレス眼症、IT 眼症と名前を変えた。

VDT 症候群の症状による分類が石川らによりなされた¹⁾。以下にそれを記す。

- (1) 視機能障害—疲れ、視力低下、かすみ、眼科的には眼精疲労、近視、乱視、結膜炎、角膜炎、眼圧上昇、涙液分泌障害、網膜障害
- (2) 頸肩腕症候群—肩こり、首の痛み、腰が痛む、頭痛、しびれ
- (3) ストレスと緊張—精神疲労、単調、追われ

る、思考がうまく展開しない、空しい、人との疎外感

- (4) 精神障害—不安、うつ、心身症、自律神経失調症、その他
- (5) 婦人科に関する問題—生理不順、流産
- (6) 皮膚の障害など—顔中心の紅斑
- (7) その他

上述の症状は全てが確立されたものではないが中でも眼に関する訴えは最も多く、相澤らの報告によると眼が疲れる (58.9%)、ものがぼやけて見える (21.4%)、ピントがぼやける (19.0%) と高率に検出される²⁾。具体的には眼に関する第一の問題は VDT 業務による調節や近視化に関する問題である。しかし VDT 業務と近視化に関しては未だ疑問を唱える者もいる。

従来の研究では調節、瞳孔反応の障害程度を定量化するためにしばしば赤外線オプトメーターに赤外線電子瞳孔計を組み合わせた機器およびその改良型が用いられてきた。しかしこれらの機器の多くは内部視標を用い、単眼視での計測であった。今回我々は赤外線電子瞳孔計 (浜松ホトニクス社) に両眼開放定屈折近点計 D'ACOMO (ワック社) を組み合わせ瞳孔反応のみならず、眼球運動が同時記録可能な機器を試作した³⁾。同機器を用い携帯電話からのメール打ち込み作業が眼、特に瞳孔、輻湊へ与える影響を調べた。

方 法

検査装置（トライイリスコーダー）の概要

今回、両眼開放定屈折近点計（以下ダコモ）の瞳孔測定部に赤外線電子瞳孔計（以下イリスコーダー）を組み合わせた機器を試作し、検査装置に用いた（以下トライイリス）。写真1に装置概観を示す。視標提示部はダコモによりディオプター等速で視標を移動させた。測定はイリスコーダーにより測定中の瞳孔をモニター上で観察しながら瞳孔直径と眼球運動を両眼同時にリアルタイムで測定した。眼球運動は、測定開始時の瞳孔中心位置を基準として、瞳孔の水平方向の移動量を測定した。図1にコントロールとして視力良好な22歳女性の測定結果を示す。なお、瞳孔径測定に関し本機器では瞳孔の横径を計測するため、10 D 負荷時には輻湊運動により瞳孔が正円形ではなく楕円形として計測され実際の瞳孔径より縮小されて計測されるため二次関数を用い補正を行った。



写真1 ワック社製定屈折近点計に赤外線電子瞳孔計を内蔵したトライイリスの装置概要

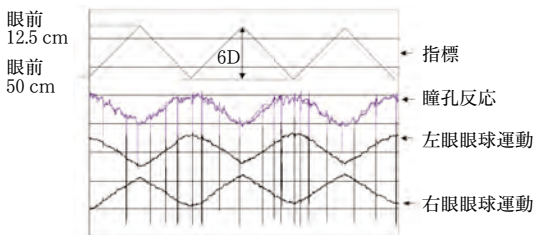


図1 トライイリスで測定した正常波形（22歳女性）

$$Vd = (1.2 \times +0.5 D)$$

$$Vs = (1.2 \times +0.5 D = \text{cyl.} - 0.5 D \text{ Ax. } 180^\circ)$$

対 象

被検者は屈折異常以外に眼疾患のない矯正視力1.0以上、両眼視機能（Titmus Stereo Test）100 sec以上の23～30歳、健常男性9名、女性20名（平均年齢25.3歳）でインフォームドコンセントを充分にとった後、測定した。

実験1

照度約350 luxの部屋に5分間前順応し、オートレフラクトメーターによる屈折検査、視力検査後、遠方完全屈折矯正下にてトライイリスで調節近点を測定し指標を、その位置と50 cm間で0.3 D/sec（準静的刺激）にて7往復させ、瞳孔反応、眼球運動を計測した。その後、小型の携帯電話を用い30分間、電子メールを眼前10 cmの位置にて、なるべく多くの文字を打ってもらい負荷作業（以下作業）とした。その直後、オートレフラクトメーターによる屈折検査、視力検査後、遠方完全屈折矯正下にてトライイリスの視標を調節近点と50 cm間で作業前と同様に0.3 D/sec（準静的刺激）にて7往復させ測定を繰り返した。

実験2

トライイリスの視標を機器から取り外し、同様の被検者にて測定日の間隔を1週間以上空け、以下の実験を施行した。照度約350 luxの部屋に5分間前順応し、5 m（0.2 D）先に設置した視標を10秒固視後、合図と共に近方7 cm（14 D）、やや下方に設置した視標を10秒固視というステップ刺激を3回与え、その時に生じる瞳孔反応と眼球運動をトライイリスにて測定した。測定後、眼前10 cmの位置にて、30分間続けて携帯電話に備わっているメールに文字を打ち込む作業をもらった。作業の終了直後、同様のSTEP刺激を与え、負荷前後の瞳孔直径、縮瞳時間、63%散瞳時間を計測した。

解 析

データは平均±標準偏差で表し、統計処理はWilcoxon signed-ranks testにより解析し $p < 0.05$ を有意とした。

結 果

両実験において作業前後での瞳孔反応の評価は優位眼 (hole in card) を用いて行った。

実験 1

トライイリスにて調節近点を測定すると、作業前 7.9 ± 0.4 (D) = 12.7 cm, 作業後 8.9 ± 0.4 (D) = 11.2 cm と有意に変化した。実験 1 でのトライイリスによる正常者の作業前での測定結果を図 2 に、作業後の結果を図 3 に示す。作業前は視標の動きと眼球運動、瞳孔反応は完全に同期し、記録上すべて三角波であった (図 2)。しかし作業後は輻湊、開散眼球運動に関しては変化が見られないものの、瞳孔反応は眼球運動よりも先行して縮瞳し、視標の動き、眼球運動に遅れて散瞳する瞳孔反応を呈した (図 3)。記録の拡大を図 4 に示す。このような逆台形型の反応は 20 例/29 例中で認められた。またその逆パターン、すなわち視標の動き、眼球運動に遅れて瞳孔が縮瞳し、視標

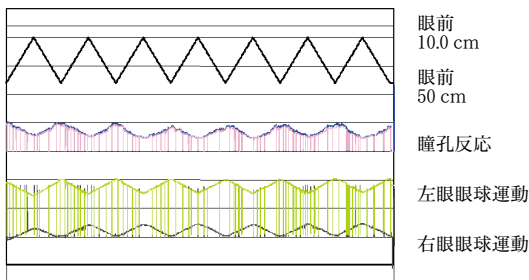


図 2 作業前瞳孔波形 (24 歳女性)

指標の動き、瞳孔反応、眼球運動が常に同期している。

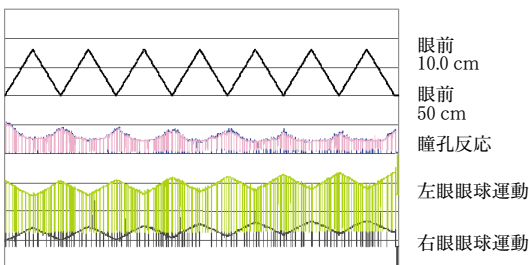


図 3 作業後瞳孔波形

作業後の瞳孔波形は逆台形型となっている。特に後半で明らかである。また図 2 と比較し瞬目 (縦のスパイク状の波形) が明らかに増加している。

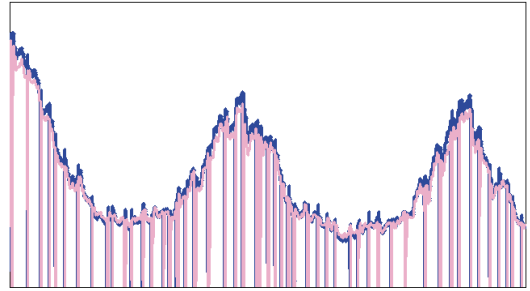


図 4 作業後瞳孔波形の拡大：逆台形型

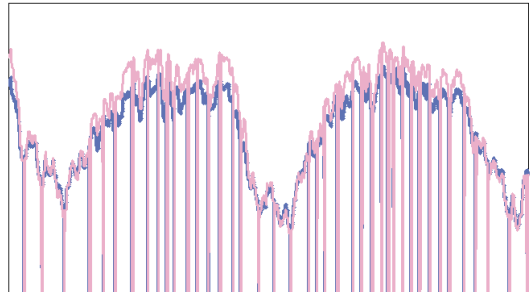


図 5 作業後瞳孔波形の拡大：台形型

の動き、眼球運動よりも先に散瞳するタイプも 3 例認められ台形型反応とした (図 5)。なお、瞬目が全例で作業後、著しく増加した。

実験 2

一方、ステップ刺激を用いた実験 (図 6) では遠方から近方に視標が変わった際、最小瞳孔径に達する時間は作業前では 2.2 ± 0.8 sec, 作業後では 2.6 ± 1.2 sec で有意差は生じなかった。それに対し、近方から遠方に視標が変わった際、瞳孔径が遠方時の 63% に戻るまでに要した時間は作業前では 2.4 ± 0.7 sec, 作業後では 3.2 ± 0.8 sec と有意に延長した。また 5 m 遠方注視時の瞳孔径は作業前 4.4 ± 0.8 mm に比べ作業後 3.9 ± 0.7 mm で有意に小さくなり縮瞳率は作業前後で 38.3% から 34.3% へ低下した。

考 察

コンピュータ画面を見続けることにより生ずる VDT 症候群、テクノストレス眼症、IT 眼症は眼症状、眼外症状等種々の症状が出現することが知られている。それらは手先のしびれ、こわばりな

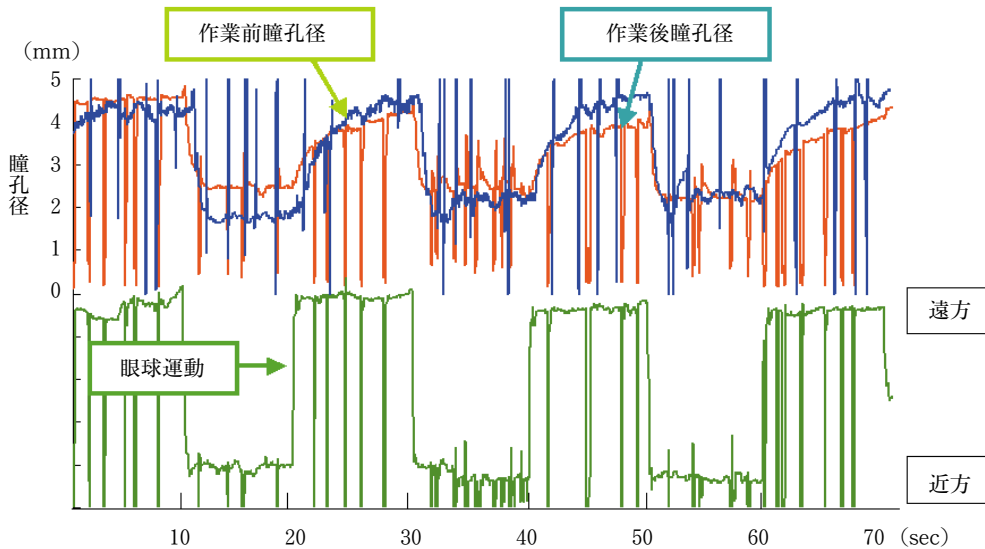


図6 ステップ刺激による眼球運動，瞳孔反応
 指標が遠方に遠ざかった際，作業後は散瞳時間の延長が認められる。

どの頸肩腕症候群，消化器，循環器症状である胃腸障害，胸部圧迫感，さらに不安，抑うつなどの精神神経症状も出現するといわれている。眼症状はドライアイ，涙液分泌低下，角膜障害，眼圧上昇などの症状が報告されているが，調節，瞳孔反応，輻湊の異常が出現することもよく知られている¹⁾。研究者は上述の症状を定量化する試みをしている。その中で，瞳孔は径というきわめて定量的性の高い数字で表すことのできる器官である。

Zwahlenらは調節機能を古典的な近点測定法および瞳孔径を計測し，両因子はVDT疲労と関係しないと述べた。さらに，眼が見えにくいという訴えは瞳孔径および調節系とは関係がないと報告した^{4), 5)}。以前，Hedman⁶⁾は調節近点は延長する傾向にあることを述べているが，これらの報告ではコントロールのとり方，方法に問題があるのではないかと考えられる。

前述したように調節，瞳孔反応の障害程度を定量化するためにしばしば赤外線オプトメータに赤外線電子瞳孔計を組み合わせた機器が用いられてきた。本機器は内部視標の準静的刺激を用い，その際に生じる調節，瞳孔径の変化を同時に測定するものである。中村らは同測定機器で調節安静位の近方化，近方調節時の過剰調節，遠方調節時の

調節弛緩の遅れを報告している⁷⁾。今回我々の研究から，調節近点は作業前7.9D，作業後8.9Dと有意に近方移動しこの報告を指示しているものと考えられた。また，土屋らは同機器を用い，調節負荷後の瞳孔の戻り方を基準にして，瞳孔反応を正常（Ⅰ），散瞳遅延（Ⅱ），縮瞳保持型（Ⅲ）に分類し，一般事務職とVDT作業者と比較するとコントロール群では（Ⅰ）52%，（Ⅱ）15%，（Ⅲ）33%となり，VDT作業者では（Ⅰ）23%，（Ⅱ）18%，（Ⅲ）59%と，縮瞳保持型が出現する割合が高いことを報告している⁸⁾。今回我々の結果からも，視標，眼球運動の同時記録で負荷作業後は，視標に先んじて縮瞳し，視標に遅れて散瞳する，逆台形型が全体の70%を占めることが判明した。また5m注視時すなわち調節があまり働かない位置（0.5D）では瞳孔径が 4.4 ± 0.8 mmから 3.9 ± 0.7 mmへ変化した。これらは土屋らの縮瞳保持型の割合が多い点と一致する。さらに，ステップ刺激を用いた実験では遠方から近方に視標が変わった際，最小瞳孔径に達する時間は作業前後で有意差は生じなかったが，近方から遠方に視標が変わった際，瞳孔径が遠方時の63%に戻るまでに要した時間は作業前では 2.4 ± 0.7 sec，作業後では 3.2 ± 0.8 secと有意に延長した。以上考え合

わせるとIT機器の作業を行うと、瞳孔は縮瞳傾向となりこれに付随して調節も緊張型になるものと考えられる。自律神経から考えると副交感神経過剰状態、または交感神経抑制状態と考えられるが、調節も変化することより副交感神経の関与が大きいと思われる。

小嶋らは赤外線オプトメータに赤外線電子瞳孔計を組み合わせた機器にP-EOGを片眼に装着し眼球運動、すなわち輻湊、開散を同時記録し近見反応すべてを測定し報告を行っている⁹⁾。本論文中にはVDT業務前の瞳孔径、眼位に関しての興味深い報告がなされている。VDT作業者(22歳女性)の月曜日と金曜日の調節、瞳孔反応、眼球運動を比較し、特に眼球運動に注目すると金曜日の測定では全く輻湊ができなくなり、輻湊不全となっていた。さらにVDT作業者31症例からMaddoxにて眼位を測定しているが、生理的外斜位から内斜位に変化している。小嶋らによる検査は内部視標を用いている点、眼球運動は片眼での測定で、調節性輻湊のみ考慮されている点が今回の測定と異なるが調節性輻湊の異常は基礎眼位に影響を与えたのではないと思われる。輻湊に関しては、Maddoxが以下の4つの成分に分類した¹⁰⁾。『緊張性輻湊・調節性輻湊・近接性輻湊・融像性輻湊』である。今回の我々の研究では、30分の単発刺激ではあるが眼位、眼球運動に影響はなかった。外部指標、単発刺激では、調節、瞳孔に異常が生じ調節性輻湊に乱れが生じても近接性輻湊、融像性輻湊が代償して眼球運動は正常に記録されたものと考えられる。

今回我々は、ダコモ定屈折近点計に赤外線電子瞳孔計を組み合わせ外部視標を用い調節刺激を連続で与え、それに伴う瞳孔径と眼位の経時的変化を両眼同時に連続記録可能な機器を開発し実験に用いた。今回の結果から作業前後を問わず視標、眼球運動は全く同期したが、瞳孔反応は視標に先んじて縮瞳し、視標に遅れて散瞳する瞳孔反応パターン(逆台形パターン)が作業後に非常に多くなった。さらに全くこの逆パターン、すなわち台形型も認められた。この台形型は交感神経の緊張状態のように考えられるがある程度以上の散瞳が起こらない反応とも考えられ、やはり副交感神経

緊張状態と捉えることができよう。調節負荷(D)に対する輻湊、すなわちAC/A比、調節負荷に対する縮瞳(P/A)、輻湊負荷に対する縮瞳(P/AC)は年齢による差はあるものの一定値を示す。携帯電話メール打ち込み作業ではこのような正常な反応を乱すことが判明した。以上より考察すると、IT作業により生ずる眼精疲労は全身疲労の一部分症状として出現し、さらに作業を続けることにより冒頭に述べた全身症状に移行するのではなかろうか。対症療法を考えるより、生活習慣の改善がより重要ではないかと思われた。

ま と め

今回新たに開発したトライイリスを用いIT眼症への影響を調べた。携帯メールを眼前で打ち込む作業は近点の近方移動、5m先の遠方視時の瞳孔径の縮小傾向、縮瞳状態から散瞳への時間の延長という瞳孔反応異常を呈したが輻湊、開散には異常がなかった。それは通常三位一体でおこるはずの近見反応が障害されることを意味している。このような状態が連日、長時間にわたり続くと自律神経系を中心とした身体の異常が発生し種々の症状が出現すると考えられた。

【文 献】

- 1) VDTと眼：石川 哲，VDT医学マニュアル，26-34，金原出版，石川 哲編集，1989。
- 2) VDT作業に伴う自覚症状と眼に関する訴えが多い理由：相澤好治，VDT医学マニュアル，18-22，金原出版，石川 哲編集，1989。
- 3) 白内障手術前後の近見時眼球運動，瞳孔反応，立体視：石川 均，陶山秀夫，石川 哲他，眼科手術，17：89-92，2004。
- 4) Zwahlen HT: Measurement of VDT operator performance, eye scanning behavior and pupil diameter changes, Proc Hum Fac. Soc Ann Meet. 27th, 2: 723-727, 1983.
- 5) Zwahlen HT and Hartmann AL: VDT operator pupil diameter changes, accommodation changes and subjective comfort/discomfort score changes over a working day, Proc Hum Fac. Soc Ann Meet. 29th, 1: 630-634, 1985.
- 6) Hedman LR and Briem V: Short term changes in eyestrain of VDU users as a function of age. Hum Factors 26: 357-370, 1984.

- 7) VDT 作業者にみられる調節・瞳孔異常について：中村芳子，近江源次郎，木下 茂，眼紀 42：1273-1278，1991.
- 8) VDT 作業者の近見反応における自律神経機能について：土屋邦彦，青木 繁，石川哲他，日本の眼科，63：508-511，1992.
- 9) VDT 従事者における近見反応：小嶋良宏，青木 繁，石川 哲，北里医学，22：620-626，1992.
- 10) von Noorden GK: The near vision complex. Binocular vision and ocular motility. 5 th eds. Mosby, St Louis, 85-100, 1996.

IT 関連情報端末による映像負荷が近見反応時の 瞳孔運動に与える影響

鈴木 康夫・松田 泰輔・大塚 賢二

(札幌医科大学医学部眼科学講座)

1. はじめに

近年、IT 関連技術の進歩はめざましく、IT 機器の一般家庭への普及が加速度的に進んできている。また、今後、IT 機器そのものも、新たな情報提示方式、理論が出現することによって変貌してゆくと想定される。このことは、現在知られている画像提示方式のみならず、未知の画像提示方式を持った IT 機器が人体に悪影響を及ぼすことへの漠然とした不安を生じさせている。鈴木、伊福部らは、人体への悪影響を未然に防ぐためのみならず、新しい機器開発へのフィードバックとしての利用も可能な「ガイドラインの作成」を目指

し、種々の映像提示機器にて 2 次元（平面，2D）映像，3 次元（立体，3D）映像を健康成人に提示し、映像提示方式、映像の特性が視覚系に及ぼす影響を検討し、赤外線アコモドメータ（AA-2000，NIDEK）を用いた調節のステップ応答に際した調節緊張速度がこの影響を評価する良い指標となることを報告している（伊福部ら，2000，鈴木，2001）。さらに、鈴木、堅田らは、映像負荷による視機能、特に調節のステップ応答速度に対する影響が映像負荷時間が長いほど大きくなること、また 2 次元映像負荷より 3 次元映像負荷のほうが大きいことを報告している（堅田ら，2000，Suzuki et al, 2004, 表 1）。しかしながら、検出

表 1

映像提示機器	被験者数	負荷映像	負荷時間	調節緊張速度			
				負荷直後	30 分	60 分	90 分
液晶プロジェクタ (SHARP)	6	2D 映画	1 時間	—	—	—	—
液晶プロジェクタ (SHARP)	12	2D 映画	2 時間	増加	—	—	—
HMD (Olympus)	6	2D 映画	1 時間	—	—	—	—
HMD (SONY)	6	2D 映画	1 時間	—	—	—	—
HMD (SONY)	12	2D 映画	2 時間	—	—	—	—
HMD (Canon)	12	2D 映画	2 時間	—	—	—	—
HMD (Canon)	2	2D 映画	2 時間	—	—	—	—
HMD (Canon)	5	2D 映画	4 時間	低下	低下	回復	回復
立体液晶 D (MR)	3	3D CG	15 分	—	—	—	—
立体液晶 D (MR)	6	3D CG	30 分	低下	低下	低下	回復
立体液晶 D (MR)	4	3D CG (近)	30 分	—	低下	低下	回復
立体液晶 D (MR)	4	3D CG (遠)	30 分	—	低下	回復	回復
立体液晶 D (MR)	9	2D 実写	30 分	—	—	—	—
立体液晶 D (MR)	9	3D 実写	30 分	—	—	—	—
平面液晶 D (三菱)	6	2D CG	30 分	—	—	—	—

HMD：ヘッドマウントディスプレイ，立体液晶 D：直視型立体ディスプレイ，MR：エム・アール・システム研究所，(近)／(遠)：画面に対する立体像の位置，増加／低下： $P < 0.05$

感度が高く定量性のある検査項目は、未だ確立されていない。

以上のことを踏まえ、我々は本 IT 眼症と環境因子研究班の班員として、より感度、特異性の高い映像負荷の影響評価の視標として、近見反応時の瞳孔運動に着目し研究を進めてきた。

2. なぜ、近見反応を研究したのか？

両眼の眼球を支えている両側眼窩の前面がほぼ同一平面上にあり、両眼視野の大部分が重なり合う我々人間には（図 1）、両眼で物を見る機能、いわゆる両眼視がある。正常な両眼視は、左右眼で同時に物を見ることができると同時に（simultaneous perception）、左右でわずかに異なる像であっても二重ではなくて一つの像として見ることができると融像（fusion）、左右の像の差から奥行きを知覚する立体視（stereopsis）という精緻な 3 つの機能から成り立っている。しかしながら、精緻な機能であるがための種々の問題が、調節を作用させた場合や眼鏡等での屈折矯正を行った場合に生じることが知られている。

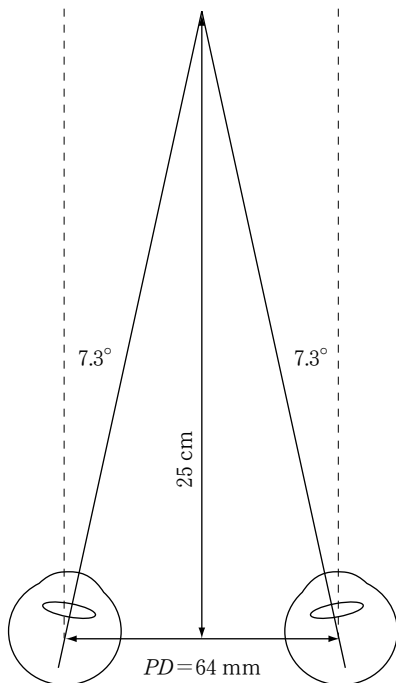


図 1 近見時の輻湊角

正視眼の人が遠方視をしている時、両眼の視線はほぼ平行で、調節は働いていない。この状態から視線を手元へ移動させる近方視は、①手元にある対象物の像が両眼網膜の黄斑部に位置するように両眼の内直筋収縮と外直筋弛緩によって両眼の視線を内向きに（眼球を鼻側に回転）させ、②この像が網膜上で焦点を結ぶように屈折力を大きくする。さらに、③同時に瞳孔括約筋の収縮による縮瞳を生じさせる。この縮瞳は、眼球光学系の焦点深度を高める作用を持っている。近方視に伴うこれら（①輻湊、②調節緊張、③縮瞳）のことを近見反応（Near reflex）という。逆に、近方視から遠方視に際して起きる現象は、①両眼の視線が広がる開散、②毛様体の弛緩による屈折力減少である調節弛緩、③瞳孔の拡大（瞳孔散大）となる。

近方視する際の輻湊角度と調節量の間には、各人の左右眼の距離（瞳孔間距離、Pupillary distance, PD）と対象物までの距離によって幾何学的に決まる相関関係がある。例えば、瞳孔間距離 64 mm の方が遠方視から眼前 25 cm へ近方視する場合の輻湊量は片眼 7.3° ($=\text{atan}(0.032/0.25)$) であり（図 1）、正視眼や眼鏡で完全に矯正された眼鏡を装着している場合の調節量は、 $4D$ ($1/0.25 - 1/\infty$) である。しかしながら、 $-2D$ の近視がある人（遠点が、0.5 m）が眼鏡を装着しない場合の必要な調節量は、 $2D$ ($1/0.25 - 1/0.5$) にすぎない。このように経験的に獲得している各人の輻湊角度と調節量の相関関係は、矯正眼鏡を装着することで成り立たなくなり、矯正眼鏡下での新しい輻湊角度と調節量の相関関係を獲得するまでは、大変な違和感を覚えることになる。このことは、特に初めて眼鏡を装着する方の多くが経験されることである。屈折異常がなく眼鏡と無縁の方が中高年になって始めて眼鏡（老眼鏡）を使う場合も同様の違和感を持つことが多く見られる。現在実用化されている立体映像提示機器は、まさに、その使用者に調節と輻湊の乖離を生じさせることから、短時間の負荷であっても使用者の視機能に影響を生じやすいと考えられる。

以上のことを踏まえ、実視標の前後方向の運動で誘発する近見反応の三要素のなかの輻湊運動と



図2 近見反応検査装置
(C7364-SA, 浜松ホトニクス)

瞳孔運動との同時記録が可能な近見反応検査装置 (C7364-SA, 浜松ホトニクス, 図2) を用いる本研究を計画した。この装置は、アコモドメータと電子瞳孔計を組み合わせたものである。なお、本研究で用いた近見反応検査装置は、現在市販されている近見反応検査装置 (Triiris C9000, 浜松ホトニクス, 平岡ら, 2003) の試作機として位置づけられていた。

3. 実験の目的

この実験の目的は、立体映像負荷が近見反応に及ぼす影響を検討することである。対象は、10歳後半から30歳前半（主に、18歳から25歳）の健康成人とし、立体映像負荷には時現在市販化されている3次元映像提示機器の中で最も一般化されており、入手しやすい液晶シャッター式眼鏡を用いた3D（立体）テレビを用いることとした。近見反応の三要素のなかで、輻湊、解散運動と瞳孔運動を同時に測定し、調節はこれらとは別に記録し、比較検討した。

4. 実験の方法

実験1：液晶シャッター式眼鏡を用いた3D（立体）テレビによる立体映像負荷が視覚調節に与える影響

健康成人4名（26歳から31歳、平均28.8歳）を対象とした。画角29インチの3Dテレビ（29N3D, 3D Televison）に提示したコンピュータグラフィックスによる立体映像を液晶シャッター式眼鏡（60GX, NuVision）を介して15分間負荷し

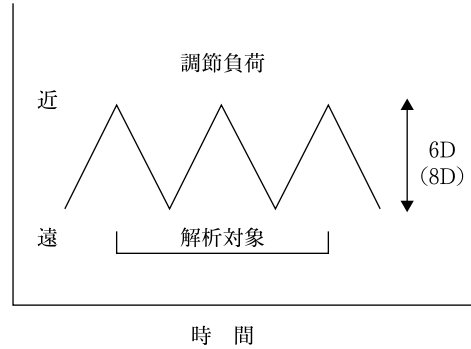


図3 近見反射誘発刺激

た。負荷前と負荷直後の調節機能を近見反応検査装置 (C7364-SA, 浜松ホトニクス) を用いて計測した。速度0.3ジオプター (D)/秒、振幅6Dの直線的調節負荷を3往復（遠1→近1→遠2→近2→遠3→近3→遠4）に加え、初めと最後を除く2往復（近1～近3）を解析対象とした（図3）。解析項目は、両眼の瞳孔面積と瞳孔径、及び瞳孔間距離の5項目とした。測定環境に起因する絶対値の変動の影響をおさえるため、測定値の前半（近1～近2）は、遠2、後半（近2～近3）は、遠3の測定値で除することでそれぞれの変化率として解析した。

実験2：立体映像負荷による生態影響—近見反応時の瞳孔運動と調節のステップ応答との比較—

屈折度が、 $\pm 0.5D$ の健康成人8名（18歳から25歳、平均20.5歳、男性、女性各4名）を対象とした。実験1と同一の画角29インチの3Dテレビ（29N3D, 3D Televison）と液晶シャッター式眼鏡（60GX, NuVision）を用いて、CGによる立体映像と実写の立体映像（各約4分間）を交互に計30分間負荷した。映像負荷前後の近見反応時の瞳孔運動は前述の近見反応検査装置（C7364-SA, 浜松ホトニクス）を用いて、調節のステップ応答は赤外線アコモドメータ AA-2000 (NIDEK) を用いて計測した。近見反応時の瞳孔運動、輻湊運動計測は近見反応検査装置の視標を6Dまたは8D移動させ（移動速度0.3D/秒）、これに伴う瞳孔運動、輻湊運動を記録した。調節

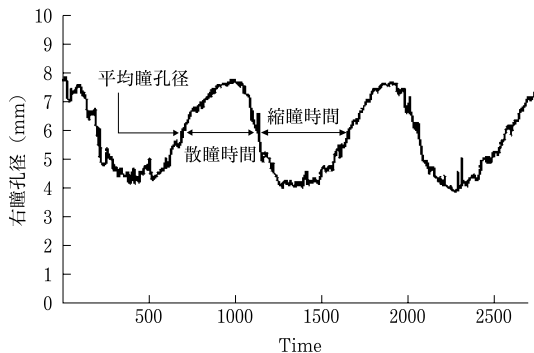


図4 縮瞳・散瞳 時間比の定義

縮瞳・散瞳時間比 = 散瞳時間 / 縮瞳時間

縮瞳時間：平均瞳孔径より縮瞳している時間

散瞳時間：平均瞳孔径より散瞳している時間

(最大瞳孔径と最小瞳孔径の平均値を平均瞳孔径とした。)

負荷は3往復(遠1→近1→遠2→近2→遠3→近3→遠4)加え、初めと最後を除く2往復(近1～近3)を解析対象とした(図1)。解析項目は、両眼の瞳孔径縮小率と縮瞳散瞳時間比(最大瞳孔径と最小瞳孔径の平均値を平均瞳孔径としたときの、平均瞳孔径より縮瞳している時間に対する散瞳している時間の比、Squeeze ratio, SQRT, 図4)、輻湊量とした。比較検討のため、赤外線アコモドメータ AA-2000 (NIDEK) を用いて、調節のステップ応答も同時に計測した。調節のステップ応答は、アコモドメータの内部視標を移動幅 6D または 8D、停止時間 5 秒でステップ制御した際の調節応答を調節の動特性として各眼 8 回測定した。内部視標の初期値は被検者眼の屈折値に 0.5D を加算した値とした。測定は左眼、右眼の順に行ない、調節緊張速度 (GRAD)、調節量 (WIDTH) を解析対象とした (図 5)。調節のステップ応答における調節緊張速度 (GRAD) は、これまでのわれわれの研究において、立体映像負荷のみならず平面映像負荷においても、最も影響が検出されやすいパラメータである^{6~8)}。映像負荷前、負荷直後、負荷後 30 分、60 分、90 分に、近見反応検査(瞳孔、輻湊運動計測)、次いでステップ応答計測の順に行い、統計解析には、One-way ANOVA (SPSS, Japan) を用いた。実験の測定プロトコルを表 2 にまとめた。

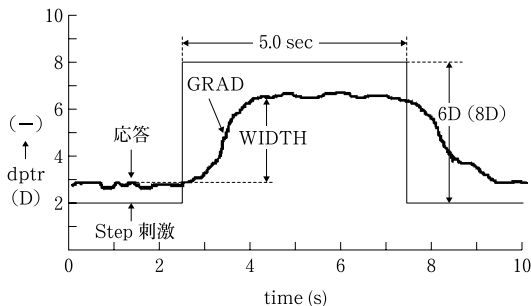
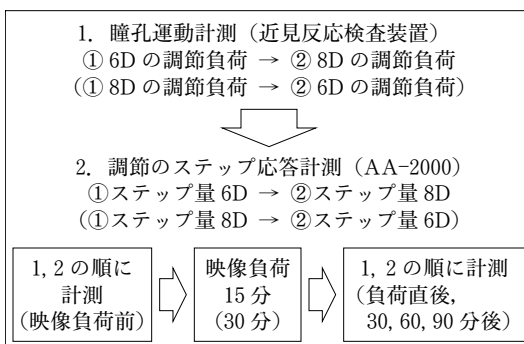


図5 調節応答誘発刺激(ステップ刺激)

表2 検査の流れ



実験3：2次元映像の長時間負荷が近見反応時の瞳孔運動に与える影響

実験2と同一の被験者8名(18~25歳、平均20.5歳、男女各4名)を対象とした。2次元映像は、立体映像付加を加えた実験で用いた3Dテレビ(29N3D, 3D Television)を用い、アニメCGを90分間負荷した。各映像負荷前後に実験2と同一の刺激パラメータ、測定プロトコルで上記の計測を行った。

5. 実験結果

実験1：振幅6Dの調節負荷による測定パラメータでは近見反応検査装置による瞳孔面積縮小率の平均値が立体映像負荷前の47%が映像負荷後には41%となり有意の低下を示した(N=16, P<0.05, 対応のある両側t検定, 図6)。また、瞳孔径縮小率の平均値も立体映像負荷前の43%が映像負荷後には39%となり有意の低下を示した(N=16, P<0.05, 対応のある両側t検定, 図7)。しかし、輻湊量には、負荷前後で差を認めな

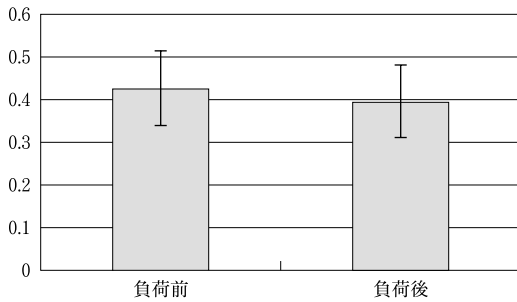


図6 瞳孔径縮小率

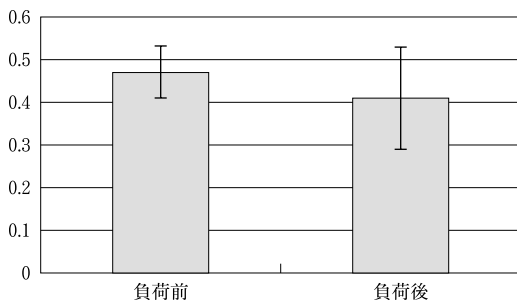


図7 瞳孔面積縮小率

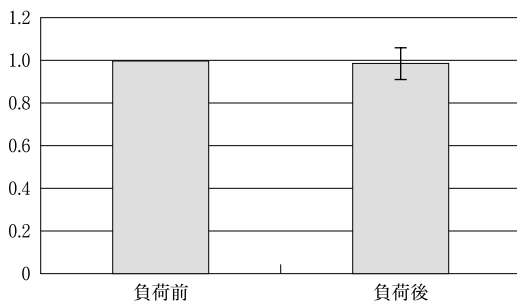


図8 輻湊量

かった ($N=8$, $P=0.69$, 対応のある両側 t 検定, 図8)。

実験2：立体映像の30分負荷により、近見時の瞳孔運動には2種類の変化が生じることが認められた。第一は、瞳孔運動の振幅の低下であり、その典型例を図9, 10に示した。各図の1段目(右眼)、2段目(左眼)に瞳孔運動を示した(左：瞳孔の横径, 右：瞳孔径の変化速度)。また、輻

湊運動を3段目に(左：輻湊量, 右：輻湊速度)、近見反応刺激左最下段に示した。この例では、輻湊反応は、映像負荷前後で差がなく、ほぼ直線応答を示しているのに対して、両眼の平均瞳孔径縮小率が59.7%から50.4%へ低下している。第2は、遠方と近方とで対称に加えている輻湊刺激に対する応答のゆがみとして捉えられる変化であり、その典型例を図11, 12に示した(図9, 10と同様のフォーマット)。前者の変化は、実験1で解析した瞳孔面積縮小率、瞳孔径縮小率として捉えることが可能であるが、後者の場合は検出できない。このため、この両者の変化を検出するパラメータとして縮瞳散瞳時間比(平均瞳孔径より縮瞳している時間に対する散瞳している時間の比, squeeze ratio, SQRT)を定義し解析した。

1) 近見反応時の輻湊運動

輻湊反応は、映像負荷後であっても、常に直線応答を示し、波形の変化を認めなかった。また、15分負荷、30分負荷のいずれにおいても、負荷前後での輻湊量の平均値に有意差は認めなかった($N=8$, $P=0.324/0.457$, 15分負荷6D/8D, 図13; $P=0.211/0.074$, 30分負荷6D/8D, 図14)。

2) 近見反応時の瞳孔径縮小率

図9, 10に示したように個々の症例では、映像負荷直後に一過性の縮小率低下をきたしたものもあったが、その平均値には統計学的な有意差を認めなかった($N=16$, $P=0.477/0.276$, 15分負荷6D/8D, 図15; $N=16$, $P=0.211/0.074$, 30分負荷6D/8D, 図16)。

3) 近見反応時の縮瞳散瞳時間比(平均瞳孔径より縮瞳している時間に対する散瞳している時間の比)

映像負荷前の近見反応時の縮瞳、散瞳運動はほぼ対称でSQRTの平均値は1.1であったが、30分間の立体映像負荷直後の調節負荷8Dに対するSQRTの平均値は0.6へと有意に低下していた($N=8$, $P<0.01$, 図18, *にて示す)。この有意差は負荷後30分以降には認められなかった。30分間の立体映像負荷直後の調節負荷6Dに対するSQRT($N=8$, $P=0.856$, 図18)と、立体映像15分負荷後のSQRT($N=8$, $P=0.114/0.12$, 6D/8D, 図17)とでは m , その平均値に負荷前後で有意

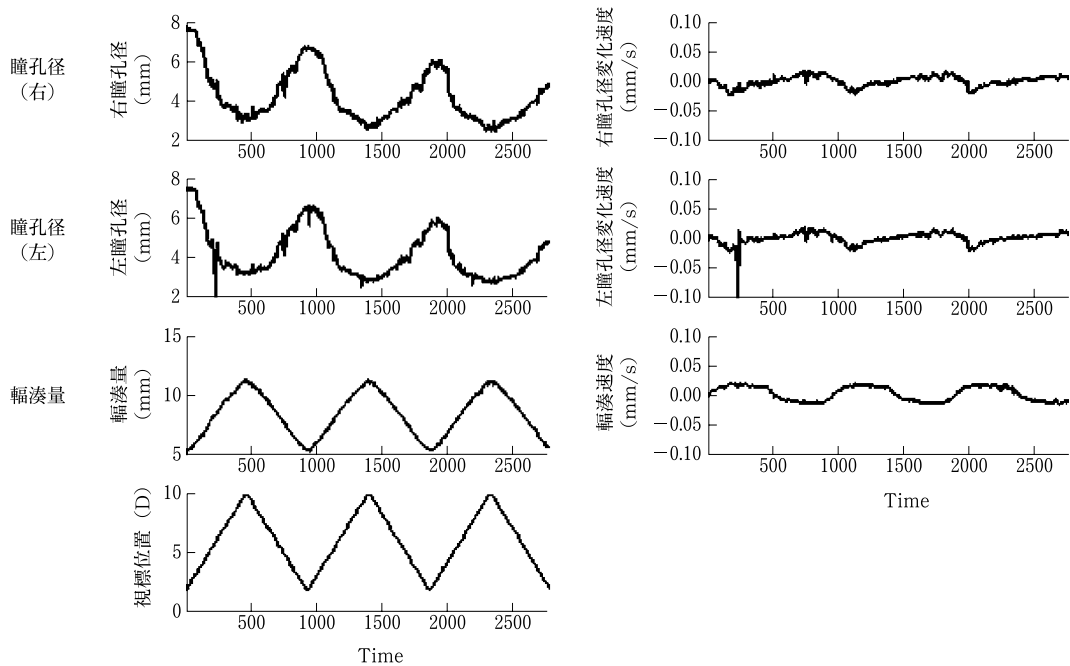


図9 映像負荷前の近見反射 (T. K.)

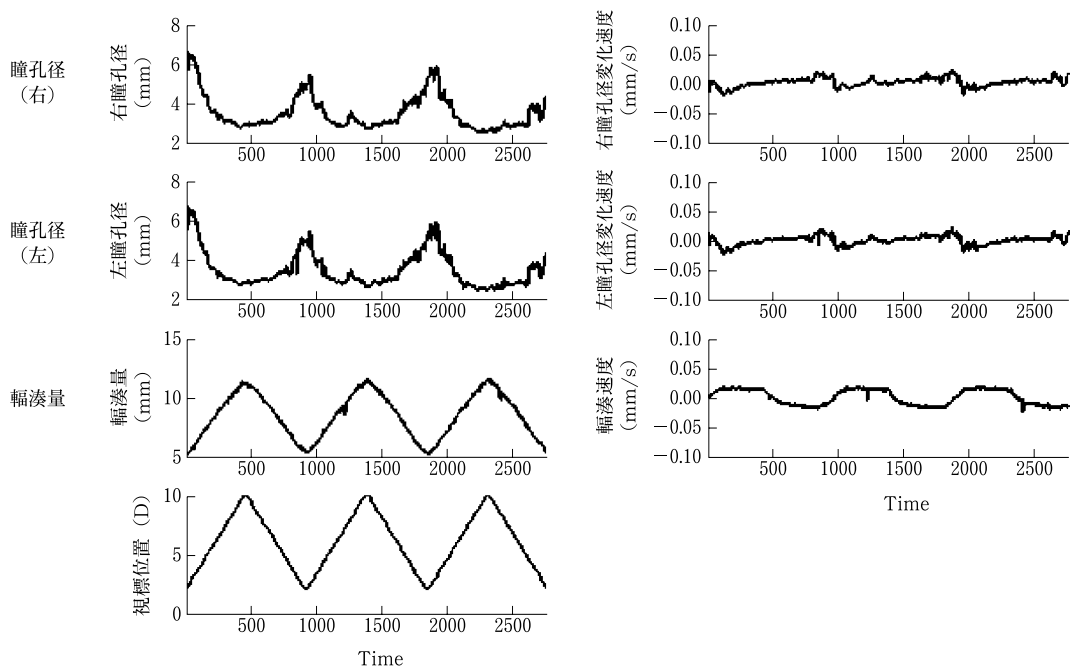


図10 30分映像負荷直後の近見反射 (T. K.)
 瞳孔径縮小率が低下 (負荷前 59.7%→負荷直後 50.4%)

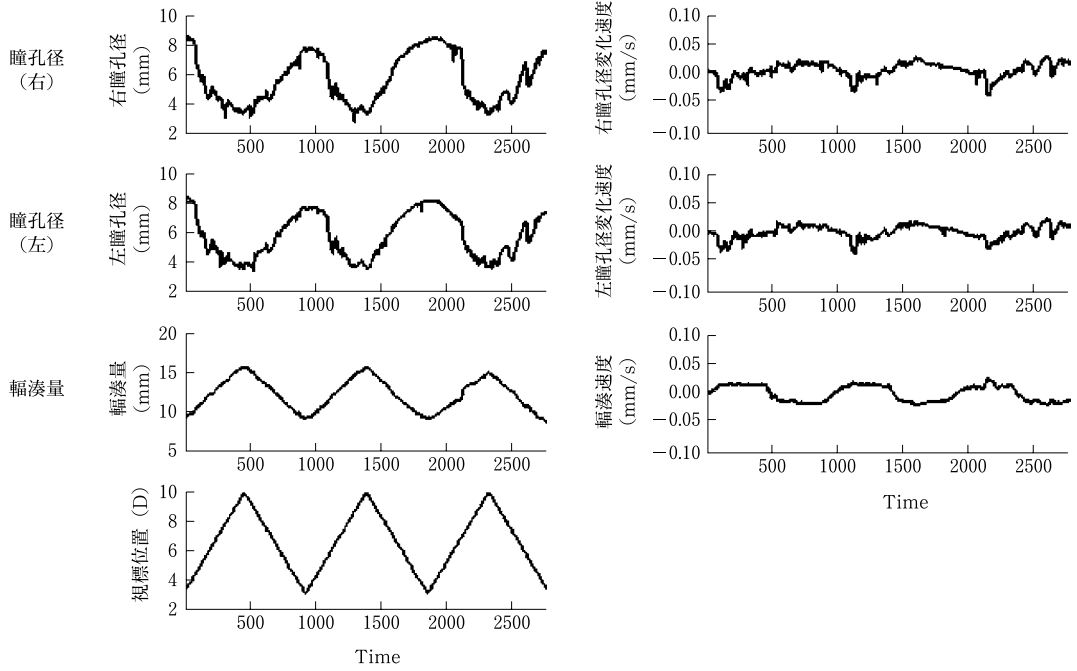


図 11 映像負荷前の近見反射 (M. M.)

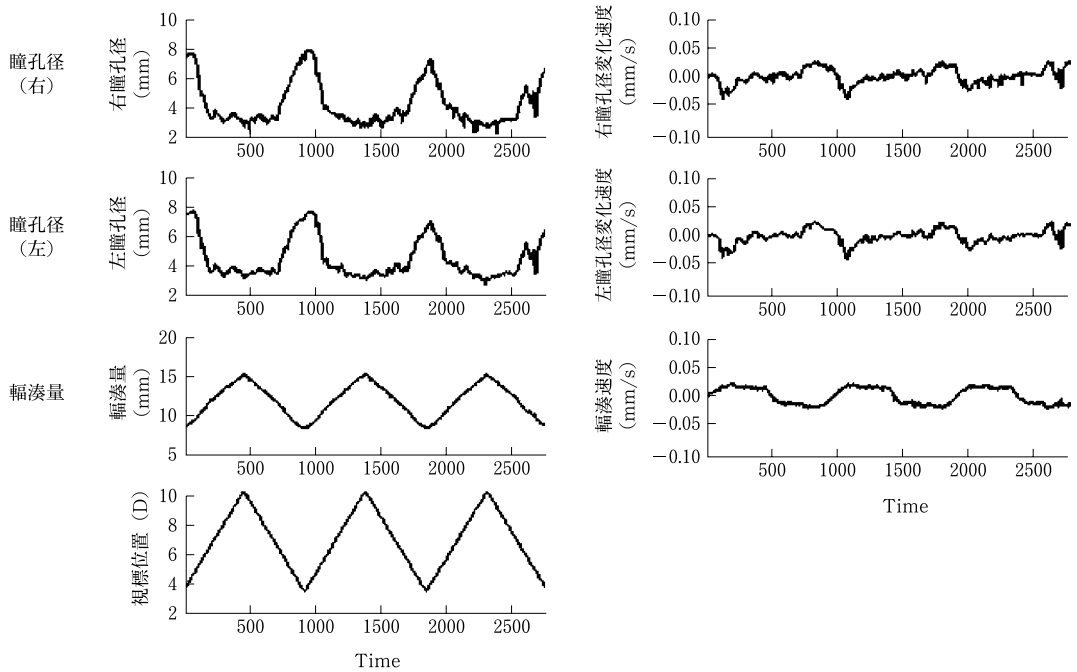


図 12 30分映像負荷直後の近見反射 (M. M.)

輻湊運動に変化はみられなかったが、明らかな瞳孔波形の変化を認めた。

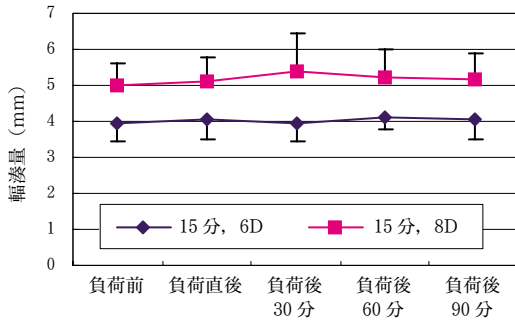


図 13 輻湊運動 (15分負荷)

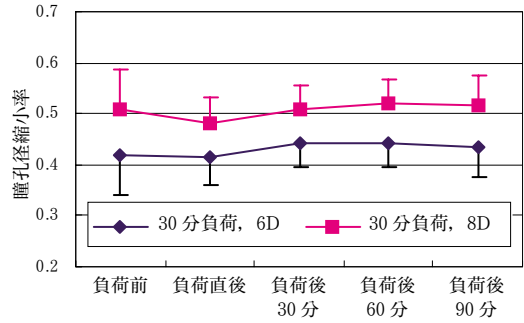


図 16 瞳孔径縮小率 (30分負荷)

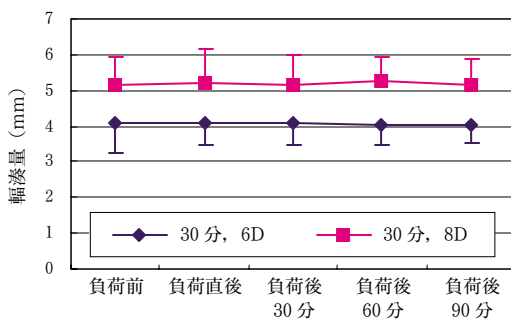


図 14 輻湊運動 (30分負荷)

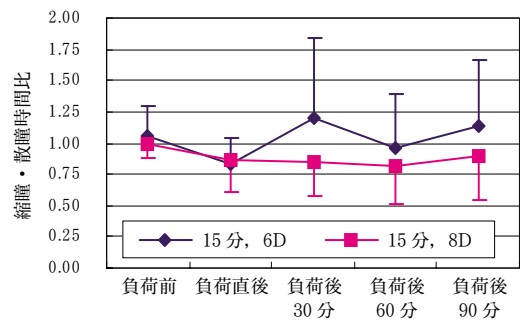


図 17 縮瞳・散瞳時間比 (15分負荷)

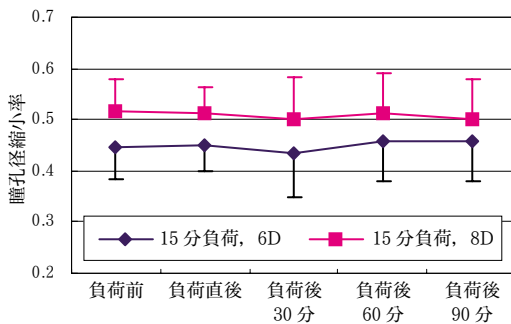


図 15 瞳孔径縮小率 (15分負荷)

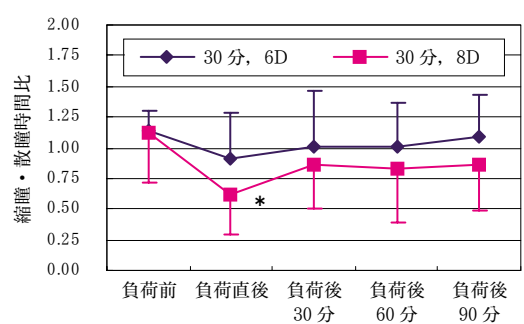


図 18 縮瞳・散瞳時間比 (30分負荷)

差を認めなかった。

4) 調節ステップ応答

調節のステップ応答の平均調節緊張速度 (GRAD, 図 19, 20) と調節量 (WIDTH, 図 21, 22) は, 15分間, 30分間のいずれの映像負荷においても, 有意の変化は示さなかった ($N=8$, $P>0.05$)。

実験 3: 図 23-25 に, 2次元映像負荷前後での結果を示した。輻湊量 ($P=0.999/0.991$, 6D 負荷/8D 負荷), 瞳孔径縮小率 ($P=0.089/0.168$, 6D 負荷/8D 負荷), 縮瞳散瞳時間比 ($P=0.605/0.597$, 6D 負荷/8D 負荷) のいずれも統計学的に有意な変化を示した測定パラメータはなかった (One-way ANOVA)。

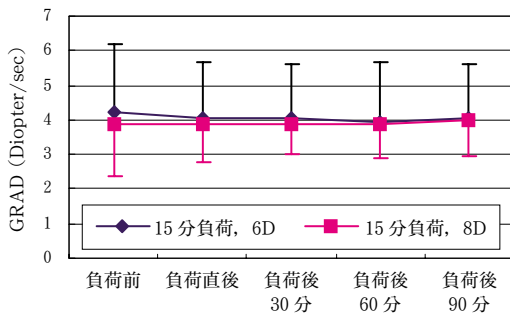


図 19 平均調節緊張速度 (15分負荷)

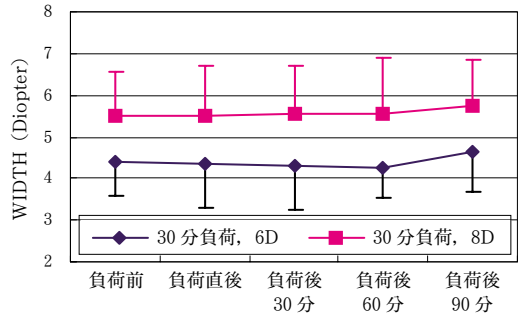


図 22 平均調節幅 (30分負荷)

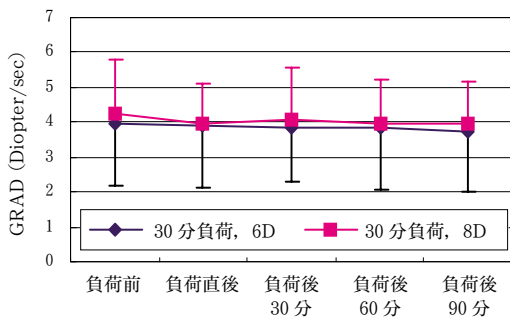


図 20 平均調節緊張速度 (30分負荷)

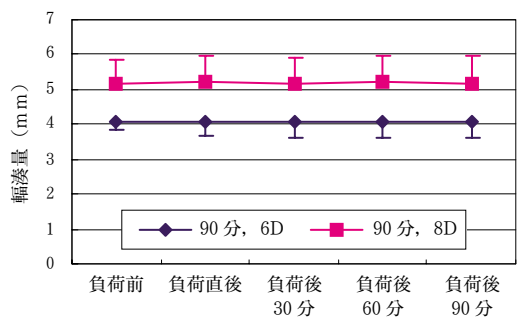


図 23 輻湊運動 (2D 負荷)

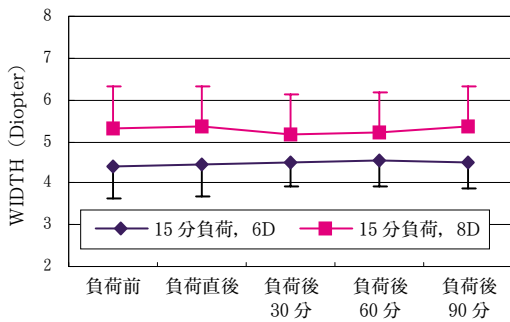


図 21 平均調節幅 (15分負荷)

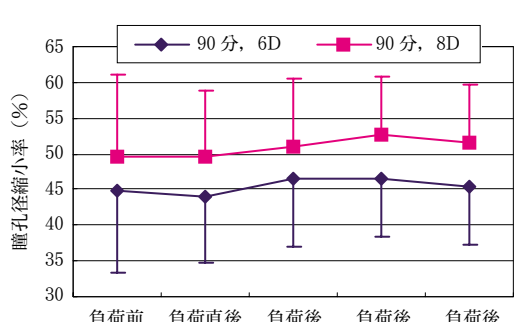


図 24 瞳孔径縮小率 (2D 負荷)

6. 考 案

1) 近見反応検査装置の利点

今回の実験で用いた近見反応検査装置 (C7364-SA, 浜松ホトニクス, 図2) は, アコモドメータと電子瞳孔計を組み合わせたものであり, 現在市販されている近見反応検査装置 (Triiris C9000, 浜松ホトニクス, 平岡ら, 2003) の試作機として

位置づけられていた。実視標の前後の動きによって誘導される近見反応に際した両眼の瞳孔運動と眼球運動を同時に記録できることから, 近見刺激に対して良好な応答をしているかどうかを眼球運動記録 (輻湊量) から判定することができる。このことは, 非常に大きな利点である。今回の実験結果のすべてにおいて, 映像負荷前後で輻湊量と輻湊運動波形に有意な変化がなかったことは, 被

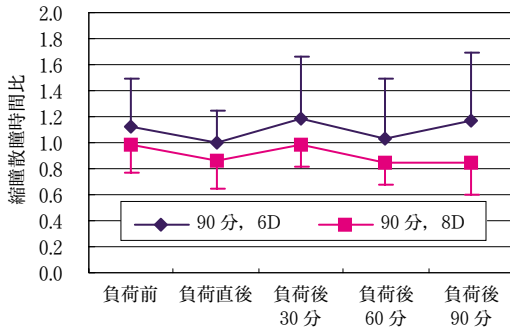


図 25 縮瞳散瞳時間比 (2D 負荷)

験者が近見刺激に対して良好な応答をしていることを保障するものである。このことは、瞳孔運動に生じた変化が単に近見反応刺激に対しての応答性が低下しているために生じたのではなく、近見反応の三要素の中の、輻湊と瞳孔運動の乖離をきたしたことを示している。

2) 調節ステップ応答時の調節緊張速度と 近見反応時の縮瞳散瞳時間比

調節ステップ応答時の調節緊張速度 (GRAD) は、他覚的かつ非侵襲性検査で得られ、映像負荷による生体影響評価に適した客観性と再現性のある定量的なパラメータとしてわれわれを含む複数施設から報告されている。

堅田らは、健康成人を対象に、2次元映像をHMD、大型投影スクリーンで長時間負荷する実験を行った。その報告によると、2時間の2次元映像負荷では調節安静位の近視化傾向は一部で認められたものの個体間のばらつきと再現性の低さから有意差は認められず、調節反応量の有意の低下も認められないのに対して、4時間の映像負荷では、調節ステップ応答時の調節緊張速度 (GRAD) に一過性の低下が認められている (堅田ら, 2000)。同様に、4時間のVDT作業後に近見反応の調節速度が有意に低下していたこともSaitoらによって報告されている (Saito et al, 1994)。さらに、ATR研究所では、調節と輻湊の矛盾を軽減させる光学的焦点調節補償機能を持つ3D (立体) ディスプレイ (3DDAC) を使い10分間のCG画像を3種類負荷して、調節刺激と輻湊刺激間の矛盾がきたす疲労の評価が行われてお

り、調節と輻湊に矛盾がある場合は調節緊張時間がばらつき、延長 (調節緊張速度が低下) することが報告されている (杉浦ら, 1999, Sugiura et al, 1999)。

新見は、25名の健康成人を対象に液晶シャッター式3D眼鏡 (Canopus社 Total3D) を用いた2次元映像負荷と3次元映像負荷 (15~60分) の生体影響をNIDEK社のAA-2000により検討しており、2次元映像負荷、3次元映像負荷共に調節安静位 (dark focus) の近視化傾向、調節反応量 (width) の低下傾向が認められたものの有意差はなかったと報告している (新見, 1999)。さらに、もうひとつの眼科臨床医を中心としたグループからも、HMDによる2D映像の長時間負荷によっても調節安静位、調節のステップ応答に有意の変化は生じなかったとの報告 (原ら, 1996) がなされている。われわれは、調節ステップ応答時の調節緊張速度 (GRAD) が3次元映像負荷によって一過性に低下することのみならず、その影響が負荷時間と映像の奥行き方向の位置に依存することを報告している (Suzuki et al, 2004)。このように、調節の動的特性への映像負荷の及ぼす影響が明らかにされてきているのだが、その生理的意味合いは未だ明らかとはなっていない。ただし、調節速度については、随意的調節と反射性調節の調節量—調節最大速度曲線が共通していることが報告されており (Ciuffreda et al, 1988)、調節のステップ応答検査で測定された調節速度は反射性調節の変化も示していると考えられる。

今回われわれが目した近見反応時の瞳孔運動に認めた変化は、調節ステップ応答時の調節緊張速度 (GRAD) との比較実験の結果から、より鋭敏な影響評価のパラメータと考えられる。その生理的意味合いは、輻湊運動には有意の変化をきたさなかったことから、単に近見反応刺激に対しての応答性が低下しているために生じたのではなく、近見反応の3要素の中の、輻湊と瞳孔運動の乖離と考えられる。3次元映像提示が内包する調節と輻湊の乖離がもたらす影響の可能性が強く示唆される。

3) 3次元映像負荷と2次元映像負荷

Harvard Medical School の Schepens Eye Research Institute では、2次元映像負荷と3次元映像負荷(30分)による生体影響をHMDとCRT-Displayで比較検討し、HMDとCRTディスプレイ間に機能的な有意差を認めなかったことが報告されている(Peli, 1998)。機械システム振興協会(旧EIAJ, 現JEITA)による多施設における大規模な研究の報告書(機械システム振興協会, 1999)では、生体は映像の提示法によって異なる生体影響を受けることが述べられている。特に立体画像負荷では、数分負荷でも若干の生体影響が生じること、さらに負荷時間が20~30分程度となるとその影響が大きくなることが示されている。これに対して、先に述べた報告のなかでは、堅田らのHMDによる2次元映像4時間負荷(堅田ら, 2000)を除き、2次元映像が、調節安静位、調節のステップ応答に有意の変化を生じないことが報告されている(原ら, 1996, Peli, 1998, 新見ら, 1999)。これらの結果は、われわれの研究結果と一致しており、3次元映像負荷は明らかに2次元映像負荷よりも強い生体への影響を有していることを示している。この原因が、ATR研究所での研究成果、我々の報告が述べた調節と輻湊の乖離にあるとすれば、今回我々が報告した近見反応時の瞳孔運動への影響は2次元映像負荷の視標となり得ない可能性がある。今後この点を検討してゆく予定である。

4) 被験者の年齢

人工的な映像提示による生体影響は、一過性に生じる影響と不可逆性に生じる影響とに分けることができる。しかしながら、この2種の影響は決して別個のものではなく、一過性に生じた影響が繰り返されたり、ある閾値を越えて大きかったりした時に不可逆性の影響になってしまうと考えられる。統計学的な検討を加えてはいないが、今回の実験で被験者の年齢が26歳以上の場合に、25歳以下の群よりも近見反応時の瞳孔運動への映像負荷の影響が生じやすい可能性が見られた。IT機器、立体映像負荷環境が一般家庭へと広がってゆくであろう近未来を考えると、今後、中高年齢者、若年者(小児)を対象とした生体影響評価が

必要になってくると考えられる。さらには、視覚障害者をも対象とした、映像提示機器の安全評価へのガイドラインの確立が望まれる。

7. まとめ

- ① 3次元映像負荷により、近見反応時の瞳孔運動は調節ステップ応答時の調節緊張速度よりも鋭敏に一過性的変化を生じうる。
- ② 3次元映像負荷により生じる近見反応時の瞳孔運動の変化には個人差があるが、平均瞳孔径より縮瞳している時間に対する散瞳している時間の比(縮瞳散瞳時間比)として、定量化、検討することができる。
- ③ 2次元映像負荷は90分という長時間であっても、3次元映像負荷30分で認めた近見反応時の瞳孔運動への影響をきたさなかった。
- ④ 26歳以上の被験者はそれ以下の若年者より、3時限映像負荷の影響を受けやすい可能性がある。

8. 結 論

新しいIT技術の中核となる画像提示機器が視覚系に与える影響を評価するための方法として、近見反応時の瞳孔運動検査が有用と考えられる。特に、人工現実感を構成するうえで重要な3次元(立体)映像負荷の影響評価指標としては、これまで報告されている調節のステップ応答検査よりも鋭敏であることが示唆された。近見反応時の瞳孔運動検査において、われわれが定義した縮瞳散瞳時間比(平均瞳孔径より縮瞳している時間に対する散瞳している時間の比, squeeze ratio, SQRT)は視覚系に与える影響の客観的な評価に適していると考えられた。

【文 献】

- 1) 伊福部達, 井野秀一, 松島純一, 鈴木康夫, 上見憲弘, 和田親宗, 堅田秀生, 恩田能成: 人工現実感刺激の人体へ及ぼす影響の生体情報工学に基づく評価, 文部省科学研究費基盤A(平成10年度~12年度)報告書, 2000.
- 2) 鈴木康夫: 画像提示機器の人体影響評価法の確立に向けて一視機能を対象とした試み一. 伊福部達編, 立体映像の人体影響を探る: 11-80, エムアール研

- 究所, 2001.
- 3) 堅田秀生, 井野秀一, 永井謙芝, 鈴木康夫, 伊福部達: 自由曲面プリズムを用いたヘッドマウントディスプレイ (HMD) による長時間映像負荷が視覚機能に与える影響, 神経眼科 17 : 433-442, 2000.
 - 4) Suzuki Y, Onda Y, Katada S, Ino S, Ifukube T : Effects of an eyeglass-free 3D display on the human visual system. Jpn J Ophthalmol 48: 1-6, 2004, 機械システム振興協会編「3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィージビリティスタディ」報告書 (平成 11 年 6 月).
 - 5) 平岡満里, 諸田麻里子, 遠矢ゆかり, 袴田直俊 : 近見三丁微測定装置一測定の他角的量的測定への応用一, 日本眼科学会雑誌 107 : 702-708, 2003.
 - 6) Saito S, Sotoyama M, Saito S : Taptagaporn S Physiological indices of visual fatigue due to VDT operation. papillary reflexes and accommodative responses, Ind Health 32 : 57-66, 1994.
 - 7) 杉原敏昭, 宮里勉, 中津良平 : 3次元ディスプレイにおける疲労の定量的評価, 映像情報メディア学会誌 53 : 1159-1166, 1999.
 - 8) Toshiaki Sugihara, Tsutomu Miyasato, Ryohei Nakatsu : "An Evaluation of Visual Fatigue in 3-D Displays. Focusing on the Mismatching of Convergence and Accommodation," The Transaction of the IEICE of Japan Vol. E82-C : 1814-1822, 1999.
 - 9) 新見浩司 : 立体映像鑑賞とストレス負荷, 神経眼科 16 : 157-165, 1999.
 - 10) 原 直人, 鶴飼一彦 他 : 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・輻輳機能の変化, 日眼会誌 100 : 535-540, 1996.
 - 11) Ciuffreda KJ : Kruger PB Dynamics of human voluntary accommodation, Am J Optom Physiol Opt 65 : 365-370, 1988.
 - 12) 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.
 - 13) 機械システム振興協会編「3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィージビリティスタディ」報告書 (平成 11 年 6 月)

携帯電話メール使用前後の瞳孔反応

—— 瞳孔振動による検討 ——

原 直人・大野 晃司

(神奈川歯科大学眼科)

内山 仁志・田中館明博・藤山由紀子・向野 和雄

(北里大学医療衛生学部)

清水 公也

(北里大学医学部)

key word : 携帯電話, 瞳孔, 高速フーリエ変換, IT
cellular phone ; pupil ; fast Fourier transformation ; Information Technology

緒 言

携帯電話でメール入力やサイト閲覧など通話以外の機能使用の場合, 視覚に依存することが多い。これは近方視を常に強いることとなり, 視機能への影響が危惧されている。VDTの研究から, 長時間のVDT作業により, 調節や瞳孔機能に異常がみられる^{1),2)}ことがよく知られているが, 携帯電話と視機能との関係については未だ不明な点が多い。

視覚作業負荷による視機能への影響を他覚的に評価するために瞳孔振動を用いた。瞳孔振動とは, 瞳孔の経時的な変動(揺れ)のことを示すが, 自律神経の活動の動揺により生じている。瞳孔振動を解析することで睡眠障害や睡眠不足などの慢性的疲労の他覚的評価が可能で³⁾⁻⁵⁾ Sleepiness Wave といった特徴的な振動動態を呈することが報告されている⁶⁾。一方, 瞳孔振動の(眼精)疲労評価の検討は, 鶴飼らがVDT作業前後にHippusがみられた例でスペクトル解析の報告をしている⁹⁾ものの, その関係は未だに明らかになっていない。

今回, 若年者を対象として, 携帯電話メール入

力を視覚負荷として, その作業前後の瞳孔反応を記録し, 疲労の有無別に比較検討を行い, 眼精疲労の他覚的診断法として有用性を検討したので報告する。

対 象

被験者は, 屈折異常以外に器質的な眼疾患がなく, 両眼視機能の良好で遠見裸眼視力0.7以上の若年者19例(男性4例, 女性15例; 平均20.7±1.2歳)を対象とした。作業後に行ったWong-Baker Face Scaleを用いた疲労度アンケート調査(図1a)により, 疲労なし群11例(男性3例, 女性8例)と疲労あり群8例(男性1例, 女性7例)の2群に分類して(図1b)比較検討した。両群の平均年齢(疲労あり群/疲労なし群; 21.0±2.0/20.6±1.1), オートレフRACTメータ(NIDEK社ARK-900)による他覚屈折値(-0.61±0.73/-0.88±1.12), 自覚屈折矯正値(0.34±0.83/0.28±0.49)には両群間で有意な差はなかった(Mann-Whitney U検定)。


実験被検者氏名 _____ 年齢 _____ 歳 性別 _____

以下のアンケートにご協力下さい。

1. 携帯メールを使用するようになったのはいつ頃からですか？
 ①初めて ②1年以内前より ③1～2年前より ④2年以上前より
 ()

2. 1日にどれくらい携帯メールを使用しますか？
 ()
 ①0.5時間以内 ②0.5～1時間 ③1～1.5時間 ④1.5～2時間 ⑤2時間以上

3. 今日の入力作業を終えて、以下のフェイススケールのうち、どれが今の状態を最も良く表す顔を答えて下さい。
 ()



4. その他何か気づいたことがあれば記入してください
 ()

図 1 a アンケート内容

下方の Wong-Baker FACES Scale にて、疲労あり群と疲労なし群に分類。

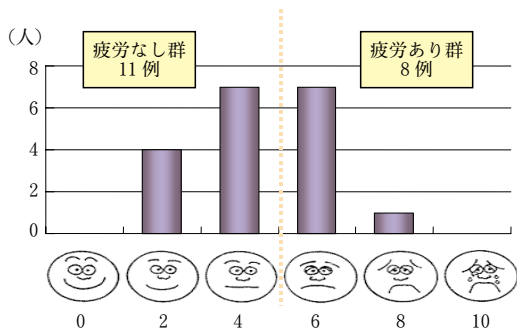


図 1 b 疲労なし群 11 例 (男性 3 例, 女性 8 例) と疲労あり群 (男性 1 例, 女性 7 例) の 2 群に分類
 縦軸：人数、横軸：疲労の程度。

方 法

1) 使用機器

実際の瞳孔反応測定に使用した機器は、浜松ホトニクス社製双眼赤外線電子瞳孔計 (C 7364) を用いた。サンプリング周波数は 60 Hz である。

2) 実験手順

視覚作業は予め用意した新聞記事を 20 分間手打ち入力とした。記事内容は、宇宙飛行士毛利衛さんに関する新聞記事で、漢字・ひらがな・カタカナおよび英数字が入り混じり、入力には複雑な文章であった。瞳孔測定は、遠見 (5 m)、近見 (33 cm) それぞれに置いた 0.2 のランドルト環視標を被検者に 60 秒ずつ合計 120 秒間注視させ、その間の瞳孔径を経時的に測定した (図 2 a)。なお測定眼は hole in card test にて決定した優位眼とした。

3) 解析方法

データの解析範囲は、遠見、近見 1 分間の最初の 5 秒、最後の 2 秒を除いた 53 秒間とした (図 2 a)。データを Excel[®] および高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transformation ; 以下 FFT) ソフトである Origin pro 7[®] にて、オフラインにて分析を行った。

- ①瞳孔径：53 秒間の平均瞳孔径を求めた (表 1)。
- ②瞳孔振動の解析：FFT によるスペクトル解析を行い、遠見と近見のパワースペクトル曲線を求めた。今回の解析の数値的評価には、求められたピークパワー値の特徴から 0.05 Hz 未満 (以下、極低周波数帯) と 0.05～0.15 Hz (以下、低周波数帯)、0.15～0.4 Hz (以下、高周波数帯) の 3 区

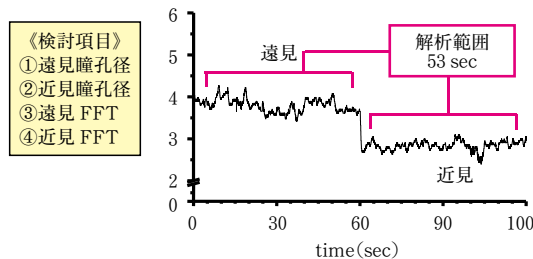


図 2 a 経時的瞳孔振動の解析方法

表 1 疲労あり、なし両群の作業前後における平均瞳孔径 (mm)

瞳孔径	分類	作業前後		統計結果
		作業前	作業後	
瞳孔径	疲労なし群	遠見	4.09±0.98	4.00±0.74 P=0.7381
		近見	3.05±0.94	2.89±0.62 P=0.6651
	疲労あり群	遠見	3.74±0.77	4.50±0.46 *P=0.0426
		近見	2.97±0.49	3.33±0.27 P=0.6682

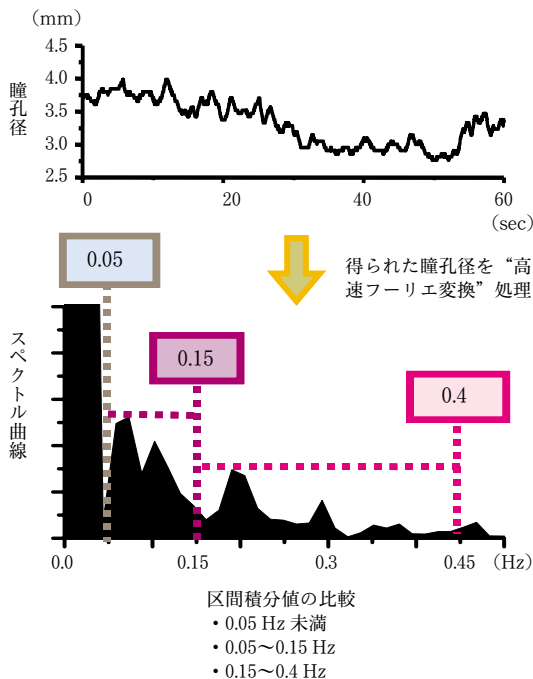


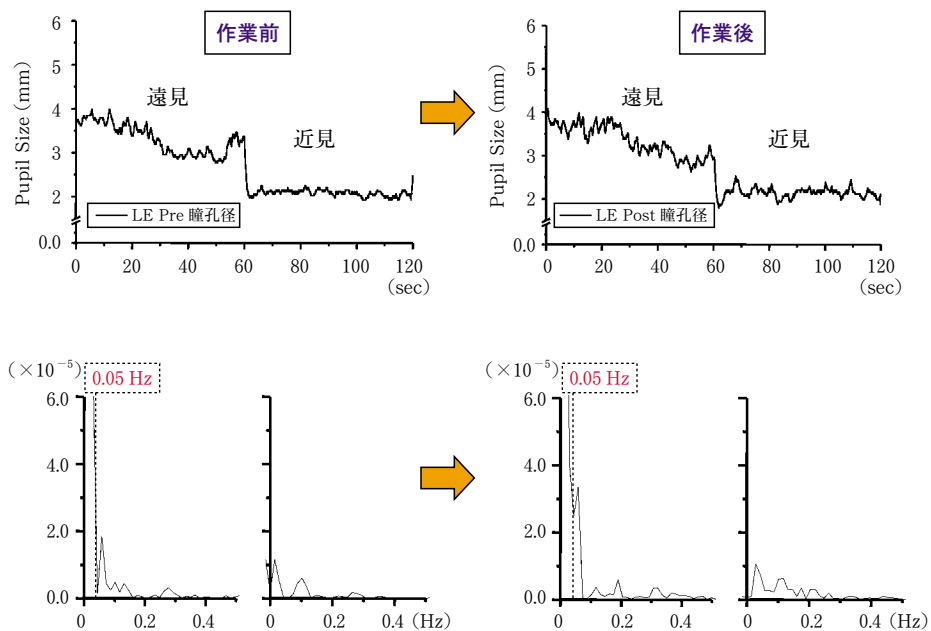
図 2b 瞳孔振動の解析
FFTによるスペクトル解析を行い、遠見と近見の
パワースペクトル曲線を求めた。

間積分値と全区間積分値の比較を行った (図 2 b)。統計学的な検討には、Kruskal-Wallis の検定を用い、有意差が認められた場合には Fisher の PLSD にて水準間の検定を行った。

結 果

1) 瞳孔径：疲労なし群の遠見、近見では作業前後において変化はみられなかった (表 1, 図 3 a 参照)。疲労を訴えた被験者群では、作業後の遠見瞳孔径が有意に大きくなっていった (表 1, 図 3 b 参照)。

2) 瞳孔振動：①疲労なし群の瞳孔振動は、遠見、近見ともに作業前後におけるパワースペクトル値を極低周波数帯が、低周波数帯、高周波数帯と比較すると、極低周波数帯において最も大きかった (図 3 a, 表 2 参照)。一方、作業前後でいずれの周波数帯域のパワースペクトラムの変動傾向には違いがみられなかった。②疲労を訴えた被験者群の瞳孔振動では、極低周波数帯のパワースペクトル値が、疲労なし群に比べて優位に小さかった (表 2)。また作業後には、遠見極低周波数帯のパワースペクトラム値は有意に大きくなった



上段は、経時的瞳孔振動の源波形を示す。下段は、周波数解析の結果を示す。縦軸にパワースペクトラム値 (mm^2/Hz)、横軸：周波数 (Hz)

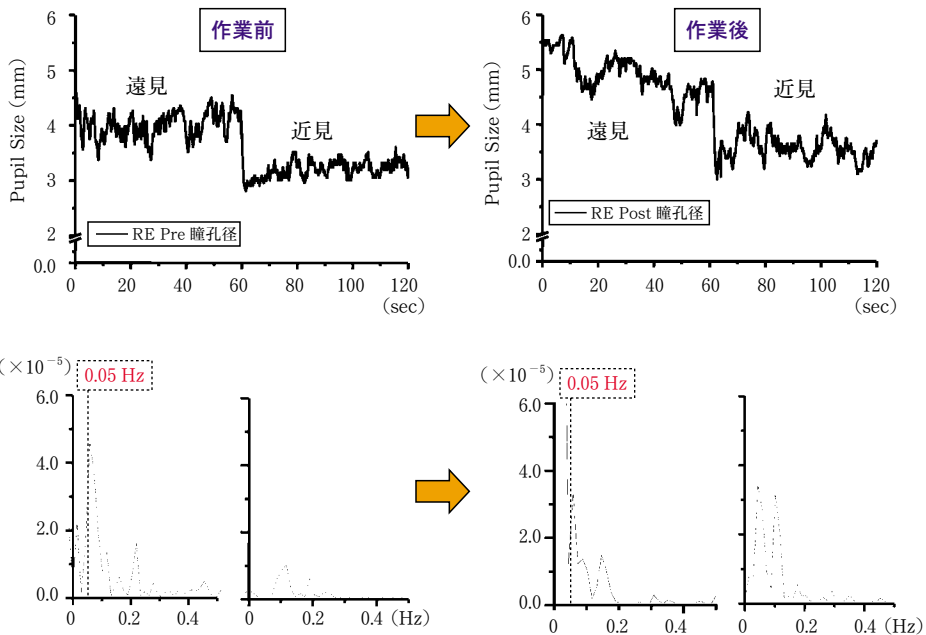


図3b 疲労あり群の代表例。瞳孔振動の解析結果
作業後に瞳孔径が大きくなっていることに注目。

表2 疲労あり，なし両群の作業前後における周波数帯別平均パワースペクトル値 (mm²/Hz)

スペクトルパワー積分値 (×10 ⁻⁵)		作業前	作業後	統計結果	
疲労なし群	遠見	0.05 Hz 未満	2.68±3.08	2.23±2.59	N.S.
		0.05-0.15 Hz	0.99±1.01	0.91±0.62	N.S.
		0.15-0.4 Hz	0.60±0.31	0.72±0.84	N.S.
		全体値	4.27±3.95	3.85±2.49	N.S.
	近見	0.05 Hz 未満	1.55±1.79	1.11±0.93	N.S.
		0.05-0.15 Hz	0.75±0.57	0.78±0.66	N.S.
		0.15-0.4 Hz	0.52±0.41	0.44±0.40	N.S.
		全体値	2.81±2.63	2.32±1.65	N.S.
疲労あり群	遠見	0.05 Hz 未満	0.52±0.57	2.30±1.40	P=0.0013
		0.05-0.15 Hz	0.56±0.48	1.12±0.59	N.S.
		0.15-0.4 Hz	0.44±0.25	0.56±0.31	N.S.
		全体値	1.52±0.98	3.98±1.62	P=0.0330
	近見	0.05 Hz 未満	0.85±1.14	1.10±0.69	N.S.
		0.05-0.15 Hz	0.43±0.25	0.74±0.44	N.S.
		0.15-0.4 Hz	0.28±0.18	0.41±0.32	N.S.
		全体値	1.56±1.30	2.24±1.16	N.S.

(図3b, 表2)。さらに疲労あり群の作業前, 全体区間積分値を疲労なし群と比較すると, 前者が有意に小さかった(表2)。

考 察

1) 瞳孔径: 疲労あり群では, 遠見時の瞳孔径が作業後大きくなった。一般に VDT 作業を行った後は瞳孔の after-effect が生じ, 縮瞳する¹⁰⁾。一方 Gray らは, 20 分間の作業後に瞳孔が散瞳していたことを報告している¹¹⁾。数時間という長い通常の VDT 作業は慢性的な疲労を呈するものの, 今回の 20 分間の作業は, 急性的な疲労あるいは交感神経系の賦活化を起す負荷とも考えられる。また活性化や覚醒水準を司る高位中枢である大脳皮質での核上性レベルの疲労により副交感神経活動が抑制を受け, 瞳孔径が大きくなった可能性も考えられる。

2) 瞳孔振動: 疲労なし群の瞳孔振動のパワースペクトル曲線は, 過去の報告で示された健常者のそれとほぼ一致し, 周波数が低いほどパワースペクトルは高値を示した¹²⁾。疲労あり群では, 極低周波数帯のパワースペクトルが小さく, 作業後により大きくなったことは, この視覚作業が, 極端に疲労した状態ではなく, メール入力作業が程好い準備運動的な効果をもたらしたと考える。

瞳孔振動の定量的評価法には, PUI (Pupillary Unrest Index)¹³⁾, PVR (Pupillary Variability Ratio)⁸⁾ や FFT を用いた周波帯域の全積分値を用いる方法がある^{5)-7), 12)} ものの, どの周波数が自律神経活動に関与しているかを判別することができない。我々は, 区間積分値を比較することで, 極低周波数帯が易疲労に関係している可能性を見出した。

極低周波数帯および低周波帯域 (0.15 Hz 以下) の成分は, 心拍変動のスペクトル解析によれば, 主に心臓の Mayer 波由来とされている¹⁴⁾ ので, 心拍成分あるいは循環器系の影響を受けている可能性がある。瞳孔振動の各周波数帯と自律神経の活動状態との関わりについては, 更なる検討の必要がある。

結 論

携帯メール入力 20 分間程度の作業で, 疲労あり群の遠見視の瞳孔振動の極低周波帯が著明に低いということを示し, この周波帯が疲労に特徴的であることが示唆された。瞳孔径の散瞳から, 交感神経系への影響あるいは核上性の副交感神経系の抑制が考えられた。以上より, 瞳孔反応周波数解析を行うことで, 易疲労性を他覚的に判断できる可能性がある。

[参考文献]

- 1) 石川 哲, 青木 繁: VDT とくに作業者の調節および瞳孔所見について, 日本眼科医会 VDT 研究班業績集, 日本の眼科 58: 840-844, 1987.
- 2) 小嶋良宏, 石川 哲, 青木 繁: VDT 作業における近見反応, 日本眼科医会 VDT 研究班業績集, 日本の眼科 59: 859-862, 1988.
- 3) Bouma H, Baghuis LC. Hippus of the pupil: periods of slow oscillations of unknown origin, Vision Res. 11: 1345-1351, 1971.
- 4) Yoss RE, Moyer NJ, Hollenhorst RW: Pupil size and spontaneous pupillary waves associated with alertness, drowsiness, and sleep, Neurology 20: 545-554, 1970.
- 5) Wilhelm H, Ludtke H, Wilhelm B: Pupillographic sleepiness testing in hypersomniacs and normals, Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 236: 725-729, 1998.
- 6) Ludtke H, Wilhelm B, Adler M, Schaeffel F, Wilhelm H: Mathematical procedures in data recording and processing of pupillary fatigue waves, Vision Res. 38: 2889-2896, 1998.
- 7) Wilhelm B, Giedke H, Ludtke H, Bittner E, Hofmann A, Wilhelm H, Daytime variations in central nervous system activation measured by a pupillographic sleepiness test, J Sleep Res. 10: 1-7, 2001.
- 8) Morad Y, Lemberg H, Yofe N, Dagan Y, Pupillography as an objective indicator of fatigue, Curr Eye Res. 21: 535-542, 2000.
- 9) Ukai K, Tsuchiya K, Ishikawa S. Induced pupillary hippus following near vision: increased occurrence in visual display unit workers, Ergonomics. 40: 1201-1211. 1997.
- 10) Tsuchiya K, Ukai K, Ishikawa S, A quasistatic study of pupil and accommodation after-effects

- following near vision, *Ophthalmic Physiol Opt.* 9 : 385-391, 1989.
- 11) Gray LS, Gilmartin B, Winn B, Accommodation microfluctuations and pupil size during sustained viewing of visual display terminals, *Ophthalmic Physiol Opt.* 20 : 5-10, 2000.
- 12) McLaren JW, Erie JC, Brubaker RF: Computerized analysis of pupillograms in studies of alertness, *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 33 : 671-676, 1992.
- 13) Wilhelm H, Wilhelm B: Clinical applications of pupillography, *J NeuroOphthalmol.* 23 : 42-49, 2003.
- 14) 杉山由樹, 間野恵明: 自律神経に見られるリズムの種類, *Clinical Neuroscience* 15 : 384-386, 1997.

モノビジョン症例における視機能と 眼精疲労の関連について

新井田 孝 裕

(国際医療福祉大学保健学部視機能療法学科)

清 水 公 也・比 嘉 利 沙 子

(北里大学医学部眼科・北里大学病院眼科)

新 田 任 里 江

(北里大学病院眼科)

〔要 約〕

目 的：白内障術後の調節機能消失への対策として、眼内レンズによるモノビジョン法が挙げられる。今回、眼内レンズによるモノビジョン法を施行した症例の両眼視機能と眼精疲労の関連について調査を行った。

方 法：対象は、眼内レンズによるモノビジョン法を施行した 71 例である。全例、Hole in the card test を用いて決定した優位眼を遠見、非優位眼を近見に矯正した。術後の視機能検査には、屈折、遠見・近見の視力検査、近見立体視 (Titmus stereo test ; 以下 TST)、眼位検査 (Prism cover test ; 以下 PCT) を用いた。さらに術後アンケートを全例で施行し、違和感、遠方・近方・中間距離での見えづらさ、眼精疲労の有無と眼鏡使用状況について調査し、不満足症例における影響因子について分析した。

結 果：全症例の 68% (48 例) では高い満足度が得られ、遠近とも眼鏡を使用することなく日常生活が可能であったが、残りの 32% (23 例) では何らかの不満を訴え、「眼精疲労」と「近見時の見えにくさ」の訴えが最も多かった。

満足群と不満足群で術後左右眼の平均屈折差に有意な差は見られなかった。不満足群の中では設定度数のズレに起因する視力不足、左右眼の大きな視力差、術後乱視が原因と考えられる症例が 30% (7 例)、不同視により両眼視機能が低下し、術後に顕性斜視が出現したり、複視を訴えた症例が 13% (3 例) みられた。さらに不満足群では遠見・近見矯正眼の単眼視力に比べ両眼開放視力が低下し、明らかな両眼加算が得られない症例が多く、このような症例では近見立体視も不良であり、一眼の眼優位性の強さが影響していると考えられた。

結 論：設定度数のズレや残余乱視などの技術的な問題と不同視に伴う両眼視機能低下に加え、眼優位性の強さが不満足群における影響因子と考えられた。瞳孔径の差異や性格的要素も考慮する必要があるが、眼優位性は遠近での固視交代やボケの抑制・両眼加算の上で重要な役割を演じていると考えられ、術前における眼優位性の定量的評価が「眼精疲労」を含めた術後の不定愁訴を軽減するために必要である。

I. 緒 言

老視の対処法として国内では眼鏡による矯正が一般的であるが、欧米では両眼の屈折度数に差をつけ、一眼を遠見用に、他眼を近見用に矯正するモノビジョン法が古くより行なわれている。モノビジョン法はコンタクトレンズによる矯正¹⁾⁻⁶⁾が一般的であるが、近年、屈折矯正手術⁷⁾⁻¹¹⁾にも応用されるようになってきた。一方、白内障手術においても、術後の調節機能消失は未だ避けられない問題であり、筆者らは、白内障手術時にモノビジョン法を取り入れることにより、術後の調節機能消失への対策のほか、今後の老視治療の糸口になると考え、99年より眼内レンズによるモノビジョン法を施行し、高い満足度を得てきた¹⁴⁾。しかし、眼内レンズによるモノビジョン法の視機能についての報告は非常に少なく¹²⁾⁻¹⁷⁾、不同視に伴う両眼視機能の低下や強い眼優位性のために、術後不満足を訴える症例もみられる。そこで今回アンケート調査を行い、視機能と眼精疲労の関連について、その影響因子の解析を試みた。

II. 対象と方法

眼内レンズによるモノビジョン法の適応は、白内障以外の器質的眼疾患を有するまたは発症の可能性のある症例、角膜乱視 1.5 D 以上の症例を除外し、さらに十分なインフォームドコンセントが得られた症例のみを対象として施行している。Hole-in-the-card test を用い決定した優位眼^{18), 19)}、つまり単眼視を強いる条件下で習慣的に使用する眼 (sighting dominance) を遠見矯正とした。眼優位性の検査には、大型弱視鏡用に独自に作成した異質図形 (視角 1 度、コントラスト 100%、空間周波数 3.0 cpd) を用い、視野闘争を誘発させ、両眼ともほぼ同等に誘発される場合を「眼優位性が弱い」、一眼に抑制がかかる場合を「眼優位性が強い」と判定し、眼優位性の強い症例は適応から除外した。なお、術前の視力に自覚的左右差のある症例では、検眼枠に遮蔽膜²⁰⁾ (Bangerter filter; Ryser 社) を貼り自覚的に左右同一にみえる状態にした上で術前の両眼視機能や眼優位性の判定を行った。

白内障手術は、点眼麻酔下、耳側角膜 2.65 mm 切開の超音波乳化吸引術後、同創口よりインジェクターを用い眼内レンズ (AQ-110 NV, Canon-Staar) の挿入を行った。その際に、術前に Hole-in-the-card test を用いて決定した優位眼^{18), 19)} を正視に矯正し、非優位眼を術後屈折が -2 から -2.5 D になるように眼内レンズ度数を選択した。

対象は、1999年5月より2002年9月までに当院で両眼の白内障手術時に眼内レンズによるモノビジョン法を施行した症例のうち、優位眼の遠見裸眼視力が 0.7 以上、非優位眼の近見裸眼視力が 0.6 以上、術後 3 ヶ月以上経過、術後乱視 1.5 D 未満の条件を満たした男性 10 例、女性 61 例の計 71 例で、平均年齢は 67 歳 (29~85 歳)、平均観察期間は 13 ヶ月 (1.6~35 ヶ月) である。

1) 術後満足度の評価

アンケート調査は違和感の有無、遠方・近方・中間距離での見え方、眼精疲労の有無の 5 項目と眼鏡使用状況について行い、1 項目でも強い不具合を感じる、または 2 項目以上の軽度の不具合を感じる症例を「不満足群」とし、眼鏡を使用しておらず、特に不具合を訴えないその他の症例を満足群に分類した。

2) 術後視機能の評価として屈折検査、単眼および両眼開放下の遠見・近見視力検査 (裸眼、完全屈折矯正下)、近見立体視 (TST) を用いた。

平均視力の算出には、logMAR 視力換算値を用いた。また一部の症例では全視能域・全距離視力測定計 AS-15 (興和社) を用いて、0.3, 0.5, 0.7, 1, 3, 5 m の 6 点で全距離視力を測定した。

III. 結 果

1) アンケート調査の結果、全症例の 68% (48 例) では高い満足度が得られ、遠近とも眼鏡を使用することなく日常生活が可能であったが、残りの 32% (23 例) では何らかの不満を訴えた。不満足群におけるアンケート調査の内訳を図 1 に示す。解答は複数回答であるが、眼精疲労を訴える症例が 57% と最も多く、次に近見時の見えにくさが 43%、中間距離の見えにくさ、遠見時の見えにくさ、違和感は同数で 26% であった。1 項目のみ回答した症例でも眼精疲労が最も多く、次の

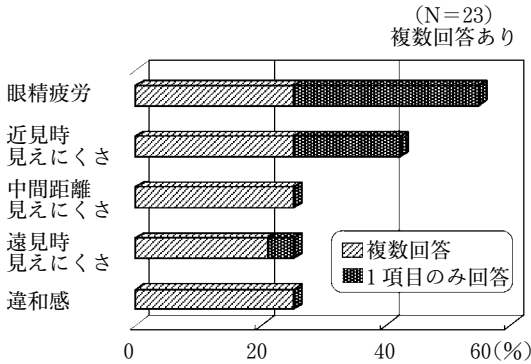


図1 術後アンケート調査の結果

で近見時の見えにくさであった。不満足群における眼鏡使用率は48% (11例)と約半数の症例で眼鏡を必要とし、このうち7例では2項目以上、5例では3項目以上の訴えがあった。

2) 術後平均屈折値は、満足群では優位眼 0.16 D, 非優位眼 -2.33 D, 屈折差 2.49 D, 不満足群では優位眼 0.08 D, 非優位眼 -2.42 D, 屈折差 2.50 Dであり、両群に差はみられなかった。次に優位眼・非優位眼それぞれの単眼視力と両眼開放視力(ともに非屈折矯正下)を近見立体視の結果とともに表1に示す。遠見両眼開放視力の平均値は満足群に比べ不満足群で高く、逆に、近見両眼開放視力の平均値は不満足群に比べ満足群で高い傾向を示した。特に近見視で不満足を訴える群の近見両眼開放視力は低い値を示した。一方、遠見時の優位眼と非優位眼の平均視力差は満足群では

表1 満足群と不満足群における検査結果

	平均不同視量(D)	遠見視力	近見視力	T.S.T不良(%) (200sec以上)
不満足群全体	2.51	1.12 [1.12 0.14	0.76 [0.20 0.77	34
近見視不満足群	2.45	1.14 [1.11 0.16	0.74 [0.17 0.74	33
眼精疲労群	2.53	1.10 [1.10 0.13	0.77 [0.25 0.78	38
満足群全体	2.53	1.06 [0.97 0.17	0.83 [0.20 0.82	15
不同視量 2.50 <	1.96	1.06 [0.97 0.17	0.83 [0.20 0.82	6
不同視量 2.50 ≥	3.03	1.06 [0.97 0.17	0.83 [0.20 0.82	24

両眼開放 [優位眼
非優位眼

0.80であったが、不満足群では0.98と大きく、逆に近見時の視力差は満足群で高い傾向を示した。不満足群では遠見・近見とも単眼視力に比べ両眼開放視力が向上する両眼加算(binocular summation)を示す症例は非常に少なく、逆に22%(5例)では単眼視力に比べ両眼開放視力が低下する両眼抑制(Binocular inhibition)を示した。一方、満足群では遠近どちらかで両眼加算を示した症例が40%(19例)であり、両眼抑制を示した症例は17%(8例)と少なく、遠見両眼開放視力の平均値では明らかな両眼加算がみられた。次に満足群で不同視量の影響をみるために左右眼の不同視量が2.5D未満と2.5D以上の2群に分け比較した。不同視量の大小と両眼開放視力値・視力差には遠見・近見とも明らかな相関はみられなかった。TSTの結果は満足群と不満足群で大きな違いがみられ、TSTが200sec以上の不良群の割合は不満足群の34%に対して満足群では15%であった。また満足群の中では不同視量の大きいほど悪化する傾向がみられたが、不満足群に比べるとその割合は低い値であった。

IV. 考 按

初期老視を対象としたコンタクトレンズや屈折矯正手術によるモノビジョン法では、残余調節力があるため必要な屈折差は約1~2Dである^{8)~11)}。しかし、眼内レンズによるモノビジョン法では、残余調節力がないため、遠方から近方まで良好な視力を得るには、より大きな屈折差(2から2.5D)が必要であり¹⁴⁾、屈折度数の変更も容易ではない。そのため、眼内レンズによるモノビジョン法ではより適応を慎重に選択する必要がある。

今回の対象は、術前に十分なインフォームドコンセントが得られた症例であり、白内障以外の器質的眼疾患を有する症例や発症の可能性のある症例は、単眼での十分な視力や良好な両眼視機能が得られないため予め適応から除外した。また、特に遠方に矯正した優位眼の斜乱視は著しく両眼開放視力を低下させることから²⁾、強度角膜乱視を有する症例も適応から除外し、惹起乱視に十分留意し手術を行っている²¹⁾。

今回、アンケート調査結果から、不満足群の内

訳として眼精疲労を訴える症例が最も多かった。モノビジョン法では術後、平均 2.5 D の不同視状態になるため、十分に順応できない症例では眼性疲労や違和感の原因となる。我々は LASIK でのモノビジョン法では術前にコンタクトレンズを用いてモノビジョン体験を行っており、十分に適応し違和感のない屈折差を検討した上で手術矯正量を決定したため、全例で術後高い満足度を得ている¹¹⁾。モノビジョン法では個人差もあるが、順応し違和感が消失までに数週間から数カ月かかると報告¹⁾されており、満足群の中にも術後に眼性疲労や違和感が数カ月続いた症例がみられた。また遠見・近見の単眼視力が十分に確保されなければ、見えづらさのみならず、違和感や眼性疲労も当然発現すると考えられ、事実、今回不満足群の半数近くから複数の訴えがあった。不等像視や複視は両眼融像が阻害されるため眼精疲労の原因となるが、術後の不等像は全例数%以下であったため不等像視の影響は少ないと考えられる。一方、術後に顕性斜視の出現や複視を訴えた症例が 13% 存在したが、これらの症例では術前より両眼視機能が弱く、不同視により両眼融像が阻害され、眼位ズレが生じたものと考えられる。さらに近見不満足群では明らかに近見両眼開放視力が低く、逆に遠見両眼開放視力が高い傾向を示した。不同視量は他群とほぼ同じであるため、両眼の眼内レンズの設定度数が遠方よりややズレていたことが要因の一つと考えられ、設定度数の精度を向上させることは高い満足度を得るためにモノビジョン法では重要と考えられる。

眼内レンズによるモノビジョン法では術前に白内障がある状態で視機能を評価する必要があるため、より慎重な適応決定が求められる。術前の視力に左右差のある症例では、遮蔽膜²⁰⁾を貼り自覚的に左右同一にみえる状態にしてから術前の両眼視機能や眼優位性の判定を行っているが、完全に白内障による視機能への影響を除外することは困難であり、今後、レーザー干渉縞を網膜上に直接投影するような検査方法の開発が必要である。

TST を用いた近見立体視についてはモノビジョン群全体では、近見完全矯正下よりは軽度低下していたが、中央値は 80 秒と比較的保たれていた。

コンタクトレンズによるモノビジョン法でも、近見立体視は両眼視の状態から約 36 秒低下するが、平均 50 から 100 秒と報告¹⁾されており、本結果とほぼ一致した。一方、不満足群では満足群に比べ、立体視が低下している症例の割合が 2 倍以上であり、特に眼精疲労群では 38% と最も高い値を示した。立体視は視力の左右差により低下することが知られているが²²⁾、近見の視力差はむしろ満足群のほうが大きく、単純に視力の左右差のみが影響しているものとは考えられない。ただし、満足群でも不同視量が大きいと立体視が低下する傾向はみられ、左右の不同視量と視力差はある程度は相関するものと考えられるが、瞳孔径やボケの抑制を含めた中枢での処理過程が大きく関与しているものと考えられる。

眼優位性 (ocular dominance) は、Sighting dominance と Sensory dominance の 2 つに大別され¹⁹⁾、モノビジョン法では Hole-in-the-card test を用いて決定した優位眼¹⁸⁾、つまり単眼視を強いる条件下で習慣的に使用する眼 (sighting dominance) を遠見矯正とするのが一般的である^{18), 19)}。Sighting dominance は自己中心座標と関係し、自己運動時の身体バランスや眼球と手の運動の協調で重要な役割を演じているだけではなく、非優位眼遠見矯正時に比べ、優位眼遠見矯正で近見立体視やコントラスト感度における両眼加算が良好であることも報告¹⁾されている。一方、Sensory dominance は知覚現象における優位性であり、両眼分離下に両眼に異質な図形を提示した際にみられる視野闘争を用いて評価され、「より長く知覚する眼」と定義されている。Sensory dominance での優位眼はボケに敏感であり、非優位眼のボケを強く抑制する。モノビジョン法で満足を得るには、ボケの抑制 (blur suppression) の良否が重要であると報告されている³⁾⁻⁵⁾。今回、結果としては呈示しなかったが、満足群の全距離視力では、両眼開放裸眼視力の平均は、いずれの距離においても 0.8 以上であり、特に中間距離 (0.7, 1 m) においては単眼視力より 2 段階以上の良好な視力が得られた。中間距離では、両眼とも defocus の状態になっているが、ほとんどの症例で全距離において良好な両眼開放視力が

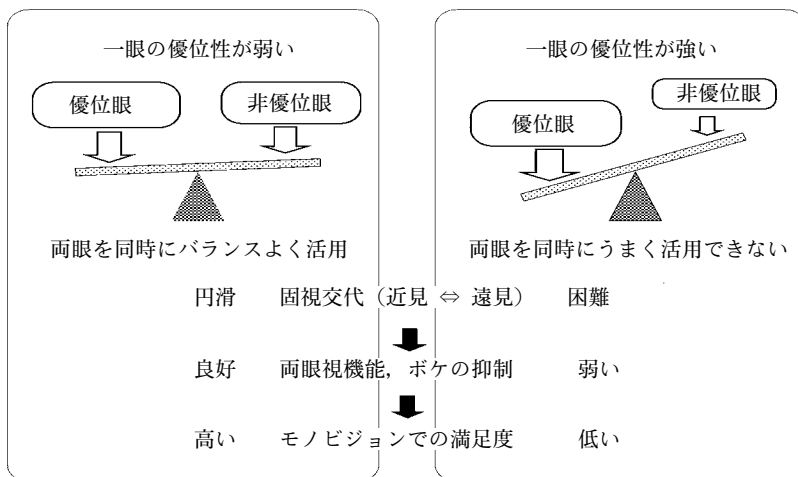


図2 モノビジョンと眼優位性の関係

得られたのは、両眼のボケの抑制 (blur suppression) がスムーズに行われ、両眼加算 (binocular summation)²³⁾ が得られたためではないかと考えられた。逆に不満足群では中間距離で両眼開放視力の低下する症例が多く、ボケの抑制が不十分であると、両眼抑制 (binocular inhibition)²⁴⁾ を招くと考えられた。この原因として、先に述べた設定度数のズレに伴う大きな左右眼の視力差や両眼視機能の低下に加え、術後の評価で強い眼優位性を有する症例が存在し、眼優位性の強さも大きく影響していることが判明した。Sighting dominance が強いと遠近でのスムーズな固視交代ができないため、遠見矯正した優位眼で近見まで見続けようとするため、近見時に優位眼のボケが強く自覚され²⁵⁾、結果的に両眼開放視力も低下すると考えられる。一方、Sensory dominance の強い症例では、非優位眼固視時に優位眼のボケが抑制できず、さらに優位眼がボケに敏感であることから優位眼でのボケが強く自覚され不満足要因となる^{1), 3), 5), 25)}。このように sighting, sensory のいずれの眼優位性についても一眼の優位性が強い場合は、図2に示したように遠近でのスムーズな固視交代や一眼の円滑なボケの抑制ができず、両眼をバランスよく活用できないため、モノビジョン法にうまく適応できないと考えられる。

最後に、モノビジョン法では設定度数のズレや

残余乱視などの技術的な問題と不同視に伴う両眼視機能低下に加え、眼優位性の強さが不満足群における影響因子と考えられた。術後の満足度には瞳孔径の差異による焦点深度の違いや性格的・心理的要素も考慮する必要があるが、眼優位性の正確な術前評価が「眼精疲労」を含めた術後の不定愁訴を軽減するために今後必要である。

【文 献】

- 1) Jain S, Arora I, Azar DT: Success of monovision in presbyopes. review of the literature and potential applications to refractive surgery, *Surv Ophthalmol* 40 : 491-499, 1996.
- 2) Collins M, Goode A, Brown B: Distance visual acuity and monovision, *Optom Vis Sci* 70 : 723-728, 1993.
- 3) Schor C, Landsman L, Erickson P: Ocular dominance and the interocular suppression of blur in monovision, *Am J Optom Physiol Op* 64 : 723-730, 1987.
- 4) Harris MG, Sheedy JE, Gan CM: Vision and task performance with monovision and diffractive bifocal contact lenses, *Optom Vis Sci* 69 : 609-614, 1992.
- 5) Collins A, Goode A: Interocular blur suppression and monovision, *Acta Ophthalmol* 72 : 376-380, 1994.
- 6) Loshin DS, Loshin MS, Cornear G: Binocular summation with monovision contact lens correction for presbyopia, *Int Contact Lens Clin* 9 :

- 161-173, 1982.
- 7) Fawcett SL, Herman WK, Alfieri CD et al: Stereoacuity and foveal fusion in adults with long-standing surgical monovision, *AAPOS* 5 : 342-347, 2001.
 - 8) Jain S, Ou R, Azar DT: Monovision outcomes in presbyopic individuals after refractive surgery, *Ophthalmol* 108 : 1430-1433, 2001.
 - 9) Sipple KC, Jain S, Azar DT: Monovision achieved with excimer laser refractive surgery, *Int Ophthalmol Clin* 41 : 91-101, 2001.
 - 10) Wright KW, Guemes A, Kapadia MS, et al: Binocular function and patient satisfaction after monovision induced by myopic photorefractive keratectomy, *J Cataract Refract Surg* 25 : 177-182, 1999.
 - 11) 中島純子, 新田任里江, 神垣久美子, 大野晃司, 鈴木雅信, 新井田孝裕, 清水公也: LASIKによるモノビジョン法を施行した4症例, *あたらしい眼科* 20 : 385-389, 2003.
 - 12) Greenbaum S: Monovision pseudophakia, *J Cataract Refract Surg* 28 : 1439-144, 2002.
 - 13) Boerner CF, Thrasher BH: Results of monovision correction in bilateral pseudophakes, *J Am Int Ocular Imp Soc* 10 : 49-50, 1984.
 - 14) 井上俊洋, 清水公也, 新井田孝裕他: 白内障術後のモノビジョンによる満足度, *臨眼* 54 : 825-829, 2000.
 - 15) 半田知也, 向野和雄, 魚里博, 新井田孝裕他: 視野闘争を用いた眼優位性の定量法, *あたらしい眼科* 20 : 1731-1733, 2003.
 - 16) 嶺井利沙子, 清水公也, 新田任理江, 新井田孝裕, 井上俊洋他: 眼内レンズによるモノビジョン法の視機能評価, *眼科手術* 17 : 223-228, 2004.
 - 17) 新井田孝裕: Monovisionを理解するために必要な神経眼科, *日本眼内レンズ屈折手術学会誌* 18, 2004印刷中.
 - 18) Walls GL: A theory of ocular dominance, *Arch Ophthalmol* 45 : 387-412, 1951.
 - 19) Porac C, Coren S: The dominant eye, *Psychological Bulletin* 83 : 880-897, 1976.
 - 20) Bangerter A: Die Okklusion in der Pleoptik und Orthoptik, *Klin. Mbl. Augenhk* 136 : 305-331, 1960.
 - 21) 清水公也: 角膜耳側切開白内障手術, *眼科* 37 : 323-330, 1995.
 - 22) 平井陽子, 粟屋忍: 視力と立体視の研究, *眼紀* 36 : 1524-1531, 1985.
 - 23) Legge GE: Binocular contrast summation, *Vision Res* 24 : 373-383, 1984.
 - 24) Pardhan S, Glichrist J: The effect of monocular defocus on binocular contrast sensitivity, *Ophthalmophysiol Op* 10 : 33-36, 1990.
 - 25) Ooi TL and He ZJ: Sensory eye dominance, *Optometry* 72 : 168-178, 2001.

機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) による IT 眼症における皮質活動の検討

吉田 正樹・北原 健二・柴 琢也
久保 寛之・原 崇彰・菊池 伸介

(東京慈恵会医科大学眼科学講座)

井田 正博

(都立荏原病院診療放射線科)

NGUYEN TH・STIEVENART JL・IBA-ZIZEN MT・CABANIS EA

(Service de Neuro-Imagerie, C.H.N.O. des XV-XX, UPMC P 6, CNRS UMR 6569, UPR 2147, Paris, France)

はじめに：fMRI とは、その原理について

機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging : fMRI) は、脳局所活動に伴う血流量などの血液動態変化を磁気共鳴現象からとらえるものである。Ogawa ら¹⁾により、その原理が初めて紹介されてから約 10 年と日は浅いものの、MRI の優れた空間分解能が利用できることから近年最も注目されている非侵襲的脳機能評価法といえる。90 年代後半から 1.5 T 臨床機の機能向上により Echo Planar Imaging (EPI) 法とよばれる高速撮像が、広く臨床に普及するようになったのを契機にして、一般臨床施設から報告²⁾⁻³⁾ もみられるようになってきている。

fMRI は外因性磁性物質を血管内投与する方法⁵⁾、RF (Radio Frequency) パルスを用いて動脈血をラベルする方法⁵⁾、内因性磁性物質の血管内動態を検出する方法がある。後者は BOLD (blood oxygen level dependent) 法¹⁾ とよばれ、Ogawa によって紹介された。本法は酸素飽和度や脳血流量といった複数の因子による影響を受ける⁶⁾ ため定量性にやや欠ける欠点があるものの、薬剤の血管内投与を必要とせず、現時点では最速

かつ全脳をカバーできる唯一の撮像法である。このため多くの fMRI 報告がこの撮像法を用いたものとなっている。図 1 に BOLD 法の原理を簡潔に示した。皮質の活動に伴い、末梢血管床への血液の流入量や速度の増加が起こる。皮質の局所賦活は嫌気性であるため、血管床では Deoxy-hemoglobin/Oxy-hemoglobin 比が相対的に減少する。Deoxy-hemoglobin は生体内磁性物質であり、その存在は MR シグナルのわずかな減少をもたらす。その結果 Deoxy-hemoglobin の減少は、シグナルの上昇となって検出される。

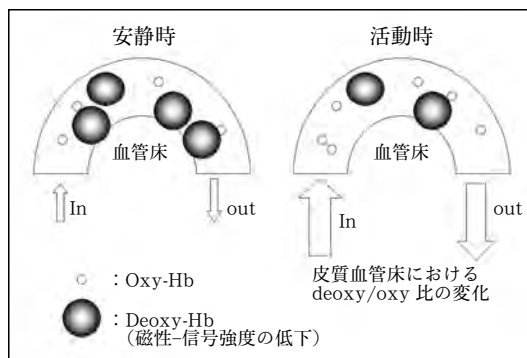


図 1 BOLD 効果

fMRIはこの現象を利用して、統計的に信号強度の増加した部位を、最終的に賦活部位として同定する手法である。現在、一般MR臨床機で可能となったEPIによる高速撮像では、信号検出率が鋭敏となったこと⁸⁾とともに多平面での同時解析が可能となっている。

本報告においてわれわれは

- I. 楔状回視覚刺激により視覚中枢の分離を試みる：fMRIの空間分解能の検討
- II. テレビコマーシャルフィルム(TVCM)提示時の経時的な皮質反応を検討する：fMRIの時間分解能の検討
- III. 通常の視覚刺激では観察されない皮質異常反応

以上の3点につき検討、報告する。

I. fMRIによる視覚野の分離同定

(Retinotopic Map作成：fMRIの空間分解能の検討)

I-1 視覚情報処理におけるfMRIの位置づけ

視覚の神経生理学は、1980年代からおもにサルを用いた知見を中心に飛躍的な進歩をとげた。色や形態は、外側膝状体の小細胞層から第1次視中枢(V1野)、V2野をへて腹側経路とよばれる経路で処理され、視運動覚や空間視は、外側膝状体の大細胞層から第1次視中枢(V1野)、V2野をへて背側経路とよばれる経路で処理されることがわかってきた⁹⁾(図2)。また各視覚野の視覚刺激反応特性が皮質刺入電極記録から調べられるようになり、V4野ではカラーモザイクと呼ばれる色のモザイク画像刺激に選択的なニューロンの活動が、V5野では視運動方向に選択的なニューロンの活動が観察されることがわかった⁹⁾。このようにして、視覚情報は腹側経路、背側経路の流れによって、機能分化された各視覚中枢において処理がなされていると考えられるようになっている。90年代に入ると、これらのサルにおける知見をもとに、陽電子断層法(PET)をもちいてヒトの視覚機能局在が検討されるようになった。90年代後半からはfMRIによりさらに詳細な機能マッピングが報告されるようになっていく。

1995年にfMRIによるヒトにおける視覚野の

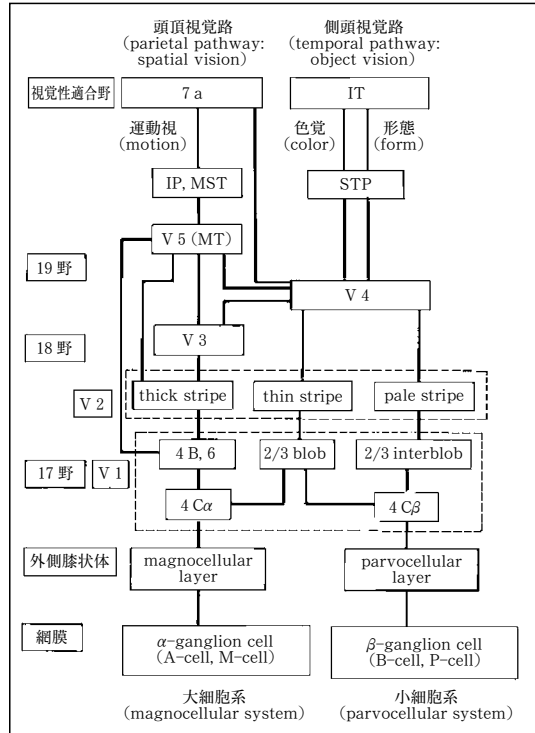


図2 視覚情報処理経路と視中枢 文献(8)より引用

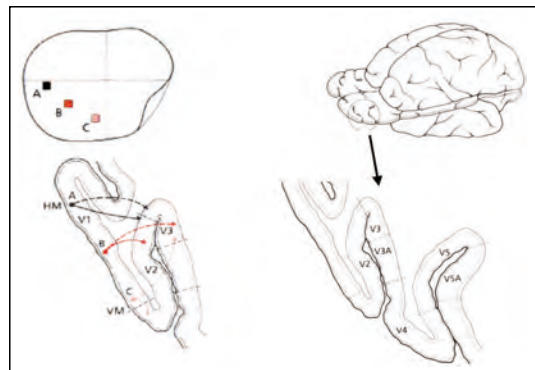


図3 後頭葉視覚野の連絡 文献(9)より引用

同定が、Serenoら¹⁰⁾によって報告された。この手法は、ヒトの視覚野を初めて非侵襲的かつ詳細に分離同定したものであった。この報告以降、視覚脳機能評価法としてfMRIは不可欠なものとなったといえる。

後頭葉視覚領では、おのおの隣接した領域における連絡は解剖学的位置関連から retinotopy の位相を反転する形で受容野が形成されている。そ

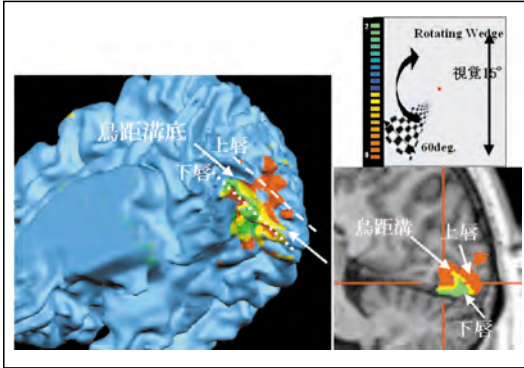


図4 楔状回転視標によって得られる皮質活動

のシェーマを図3⁹⁾に示す。彼等は半円形チェッカーボード回転視標による視覚皮質のBOLD経時変化を位相解析することで、各回転角に相当する賦活域を同定し、さらに、隣接した視覚領域はretinotopyの位相が反転することをもとに、3次元解剖脳上に各視覚域をマッピングしている。V1野と比較し、V1野から離れたV3野VP野V4野などの視覚野は、機能分化がなされているため、受容野が広汎となる¹⁰⁾。これより本手技は、視覚中枢の持つ受容野の位置情報を利用して各視覚野の分離をおこなうため、V1野から離れた視覚中枢を分離するのは次第に困難となる。この問題を解決するには、視覚刺激をSerenoらの様に広角な半円のチェッカーボードではなく、楔(くさび)状に狭めることで可能となるが、賦活域も狭くなるためS/N(シグナルノイズ比)の面で不利となり、より多くの加算が必要となる。

I-2 方法

対象は正常被検者3名である。MR画像は臨床用1.5T臨床機を使用した。機能画像はGradient echo EPI (TR: 2600 ms, TE: 60 ms, FOV: 192 mm, 64 matrix, slice厚3-4 mm×22スライス)にて120ないし240 volume撮像し、賦活部位は高分解能T1強調3次元画像に重ねた。視覚刺激は、視覚15°の円形格子縞視標を、中央の固視点を中心に60度の楔(くさび)状にて1分で360度回転させた。また、視覚5°幅で視覚15°まで1分で拡散を繰り返す円形拡散視標提示も行い、賦活部位を検討した。賦活部位の同定には、回転角位相に応じた相互相関係数処理を行った。画像解

析にはBrain Innovation社製Brain Voyagerを使用した。

I-3 結果

代表的な結果を図に示す。図4に楔(くさび)状回転視標によって得られた視覚皮質活動の結果を示す。左は解剖画像から皮質表面を3次元再構成した被検者の脳に賦活部位を重ねたもの、右はT1強調画像水平断に賦活部位を重ねたものである。楔状視標が水平子午線上にあるときの反応が黄色で示され、下方垂直経線上にあるときは赤色で、上方垂直経線上にあるときは緑色で示されている。矢印に示す鳥距溝の底部が水平子午線に一致する黄色で、上唇が下方垂直経線に一致する赤色、下唇が上方垂直経線に一致する緑色で示されretinotopyを正しく表現していることがわかる。

図5に、拡散円形視標によって得られた視野偏心性の視覚皮質反応を示す。図4と同様に左は解剖画像から皮質表面を3次元再構成した被検者の脳に賦活部位を重ねたもの、右はT1強調画像水平断に賦活部位を重ねたものである。Serenoら¹⁰⁾の報告と同様に、中心視野が赤で示された後頭極に相当し、周辺視野へ移行するに従って青から緑で示される深部へ反応が移動することがわかる。

図6に平坦化した皮質上に、楔状回転視標によって得られた賦活域を重ねて示す。図には、腹側経路が示されている。V2はV1で上方垂直経線を表現した緑を境界として接し、中央が黄色で示され、下方垂直経線を表現した赤を境としてVP野と接している。VP野は同様な位相の反転でV4

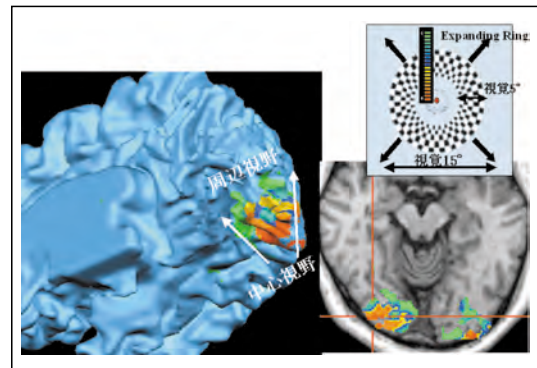


図5 拡散円形視標によって得られる皮質活動

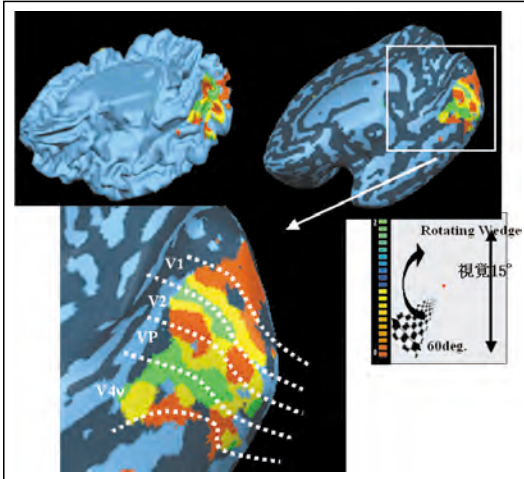


図6 回転角と皮質反応(腹側経路系視覚野の分離同定)

v野(本手技によって分離同定された場合、腹側V4野としてV4v野と記載するものが多く上記解説のV4野と同義である)に接していることがわかる。

I-4 考 按

3名の被験者ともに、本手技において視野の水平子午線に一致する鳥距溝底部が、上下視野に相当する鳥距溝のそれぞれ下唇、上唇に正確に一致して描出された。本手技において使用したボクセルサイズは3mm立方ないし4mm立法である。陽電子断層法(PET)の空間分解能の指標である半値幅(FWHN)が3.5~6mmである¹²⁾ことと比較すると、空間分解能においてやや上回る。加えて、PETは賦活試験においては放射性薬剤を静注しなげなければならないことからサンプリング数に制限があるのに対しfMRIは被検者の集中が続く限りサンプリングすることが可能である。PETでは不可能であった脳溝、脳回における賦活の分離が可能である本結果から、fMRIは現時点で空間分解能に最も優れた非浸襲的脳機能評価法と考えられる。今後は、BOLD法によるfMRIの空間分解能は静磁場強度の上昇に伴い1mm立方程度まで向上することが考えられており、fMRIは今後とも最も空間分解能に優れた非浸襲的脳機能評価法として使用されることが推測される。

II. テレビコマーシャルフィルム (TVCM) 提示時の経時的な皮質反応を検討する：fMRIの時間分解能の検討

II-1 目 的

日本民間放送連盟は、1998年6月に[アニメーション等の映像手法に関するガイドライン]を提案した。これは97年12月16日放映のテレビアニメ『ポケットモンスター』にて700名近くが光駆動性てんかんと思われる発作をおこし治療をうけることになったことがこのガイドライン設定の経緯となっている。ガイドラインの要綱を図7に示す。その項目中に、“映像や光の点滅は、原則として1秒間に3回を超える使用を避ける”とある。今回われわれは、このガイドラインに抵触する可能性があるとして修正が加えられたテレビコマーシャルフィルム(以下TVCM)、修正前および修正後を提示時の経時的な皮質活動を、機能的磁気共鳴画像検査(fMRI)により検討を試みた。

II-2 方 法

図8に視覚刺激として使用したTVCMを示す。15秒を3秒毎に分割し、Scene1~5として表示した。ガイドラインに抵触したと思われる部位はScene4の後半(bとして示す)にみられる。赤と青の点滅が早い頻度で数回みられている。修正後のTVCMはガイドライン抵触箇所とおもわれるScene4後半を含めScene1とScene5に輝度変化をおさえた修正がみられた(図に青丸で囲い、

〈アニメーション等の映像手法に関するガイドライン〉
1998年4月8日 日本放送協会(社)日本民間放送連盟

1. 映像や光の点滅は、原則として1秒間に3回を超える使用を避けるとともに、次の点に留意する。
 - (1) 「鮮やかな赤色」の点滅は特に慎重に扱う。
 - (2) 前項(1)の条件を満たした上で1秒間に3回を超える点滅が必要なときは、5回を限度とし、かつ、画面の輝度変化を20パーセント以下に抑える。加えて、連続して2秒を超える使用は行わない。
2. コントラストの強い画面の反転や、画面の輝度変化が20パーセントを超える急激な場面転換は、原則として1秒間に3回を超えて使用しない。
3. 規則的なパターン模様(縞模様、渦巻き模様、同心円模様など)が、画面の大部分を占めることも避ける。

図7

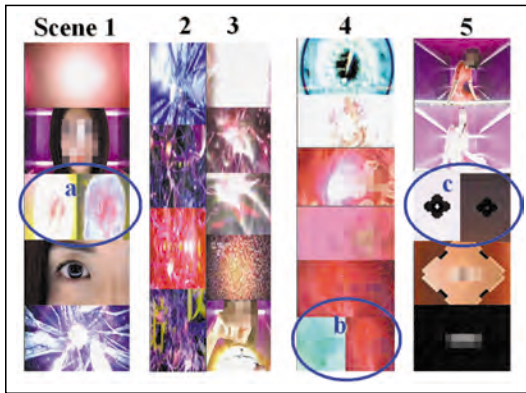


図 8

Scene 1 の訂正箇所を a. Scene 4 の訂正箇所を b. Scene 5 の訂正箇所を c として示す。

対象は正常被検者 2 名である。MR 画像は臨床用 1.5 T 臨床機を使用した。機能画像は Gradient echo EPI (TE: 60 ms, TR: 3000 ms, FOV: 192 mm, 64 matrix, slice 厚 4 mm) にて全脳を撮像し、賦活部位は高分解能 T1 強調 3 次元画像に重ねた。視覚刺激は、ベースラインとしての視覚提示なしの 15 秒に続いて、TVCM と等輝度のスクランブル画像 15 秒、修正前 TVCM 15 秒計 45 秒を 1 連として 10 回連続提示をおこなった。同じく修正後 TVCM においても、ベースラインとしての視覚提示なしの 15 秒に続いて、TVCM と等輝度のスクランブル画像 15 秒、修正後 TVCM 15 秒計 45 秒を 1 連として 10 回連続提示をおこなった。画像解析には SPM 99 上にて 3 秒毎の event related モデルを用い、ベースラインを -1, 各イベントを 1 としたコントラストの t-test を行い uncorrected $p < 0.001$ をみだす領域を賦活域として同定し、経時的な皮質の賦活を検討した。

II-3 結果

代表的な結果を提示する。すべての Scene において、後頭葉視覚皮質、特に形態覚処理経路に一致した腹側に賦活域が検出された (図 9~13)。修正が加えられていない Scene 2 (図 10) および Scene 3 (図 11) においては両者の賦活域に差は観察されなかった。一方、修正が加えられた Scene 1, Scene 3, Scene 4, Scene 5 のうち Scene

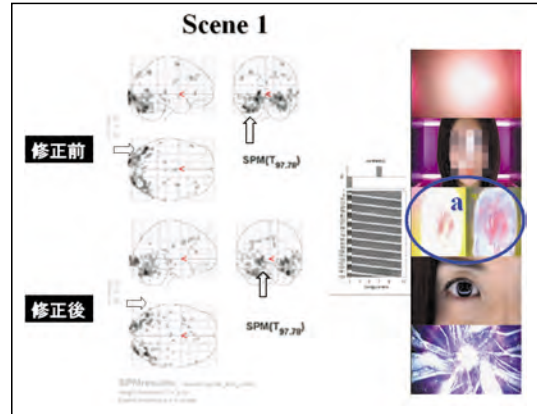


図 9

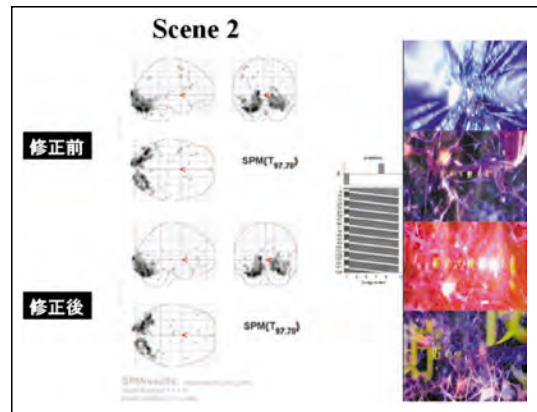


図 10

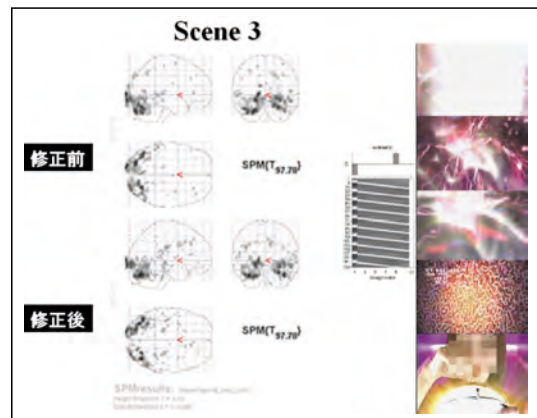


図 11

1, Scene 3, Scene 4 において矢印に示す有線外野とおもわれる領域に修正後と比較し、修正前 TVCM 提示においてより広範な賦活域が検出さ

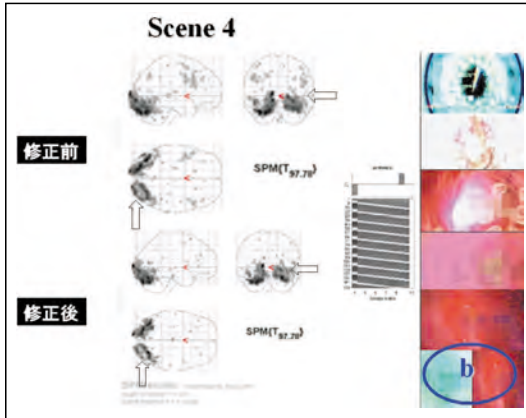


図 12

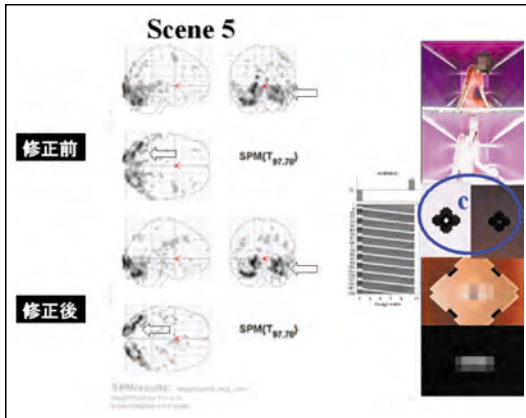


図 13

れた。ただし、Scene 5 においては逆に修正後 TVCM における賦活域がより広範であった。

II-4 考 案

TVCM 提示時の経時的な皮質活動を fMRI により検討した。15 秒の TVCM 提示中の皮質活動が 3 秒毎の撮像それぞれに対して event related model を使用することで後頭葉の賦活を経時的に観察することが可能であった。また、輝度変化を抑えた改定前後の TVCM 提示それぞれにおける皮質反応の差異は Scene 5 を除き改定前の TVCM 提示に際してより広汎に観察された。fMRI は神経の賦活に対して 2 次的に発生する血管反応に依存していることから電気生理学的検査と比較して時間分解能にやや劣るものの、適切な解析モデルの設定により、数秒単位の時間分解能で皮質反応をとらえることが示唆された。

TVCM のように経時的にさまざまな視覚変化によって提供される IT 画像に対する皮質活動を検討するには、fMRI にとって信号解析手技は重要である。次章において同 TVCM 提示の皮質反応を異なる解析モデルによりさらに検討する。

III. 通常の視覚刺激では観察されない皮質異常反応

III-1 目 的

I と II において使用した視覚刺激では、形態覚情報処理を反映する腹側視覚皮質が背側のそれに比較して賦活を受ける傾向がみられた (図 6, 図 9~13)。そこで人工的な屈折異常として乱視を負荷し、形態覚情報に変化を加えた状態で後頭葉視覚皮質の賦活を検討した。また II で使用したアニメーション等の映像手法に関するガイドラインに抵触するとして修正が加えられた TVCM の修正前、修正後提示時の視覚皮質反応について II と異なる解析モデルにて乱視負荷時の皮質活動との比較検討をおこなった。

III-2 方 法

対象は正常被検者 2 名である。MR 画像は 1.5 T 臨床機を使用した。機能画像は Gradient echo EPI (TE: 60 ms, TR: 2000 ms, FOV: 192-240 mm, 64 matrix, slice 厚 5 mm) にて全脳を撮像し、賦活部位は高分解能 T 1 強調 3 次元画像に重ねた。図 14 に使用した視覚刺激を示す。視覚 9 度の円形の中に、中央には固視点とともに、視覚 15 分の縦縞と横縞が配置してあり、縞が白と黒が交互に 8 Hz で反転する。視覚刺激と機能画像撮像の

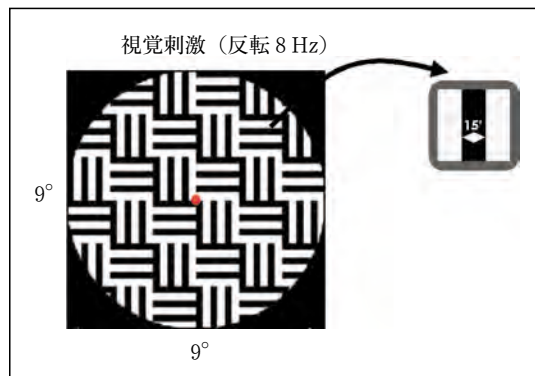


図 14

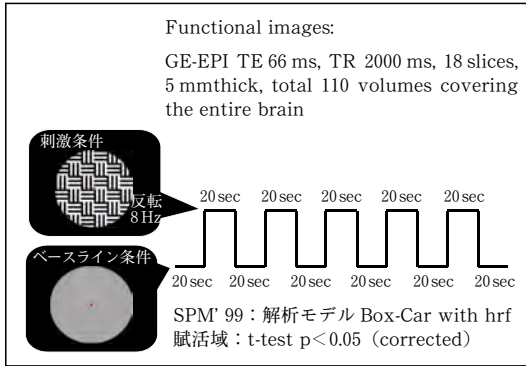


図 15 視覚提示と機能画像撮像

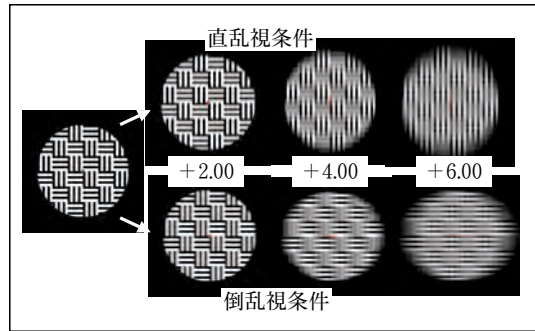


図 17 人工的屈折異常（乱視）条件下における
 ‘ぼやけ’のシミュレーション

- 刺激各条件；右眼片眼刺激（左眼遮蔽）
1. HCL 矯正による正視（乱視なし）条件
 2. 直乱視条件
 正視条件に加え
 円柱レンズ各：+2.00, +4.00 D, +6.00 D @ 0° 挿入
 3. 倒乱視条件
 正視条件に加え
 円柱レンズ各：+2.00, +4.00 D, +6.00 D @ 90° 挿入
 各条件ともに塩酸トロピカミドによる調節麻痺下に検査施行した

図 16 人工的屈折異常（乱視）作成条件

タイミングを図 15 に示す。ベースライン条件として固視点と灰色背景野を 20 秒間提示とし、刺激条件を図 14 に示した 8 Hz 反転視標の 20 秒間提示とした。6 回のベースライン条件、5 回の刺激条件刺激の両条件を交互に繰り返し 220 秒を 1 セッションとした。被検者の人工的屈折異常負荷条件の詳細を図 16 に示す。刺激は左眼遮蔽の常時右眼刺激とした。被検者は塩酸トロピカミド点眼にて調節麻痺下にハードコンタクトレンズにて矯正し正視環境にて最初のセッションをおこなった。続いて、+2.0 D, +4.0 D, +6.0 D 各円柱レンズを 0 度もしくは 180 度に挿入し人工的直乱視もしくは倒乱視状態を作成した。各人工的屈性異常条件下でセッションをおこない皮質活動を検討した。解析には SPM 99 を使用し、BOX-CAR 参照係数下にベースライン条件を -1, 刺激条件を +1 として t-test をおこなった。多重比較条件 $p < 0.05$ をみたま領域を賦活域として同定した。

図 17 に正視条件および直乱視、倒乱視各ジ

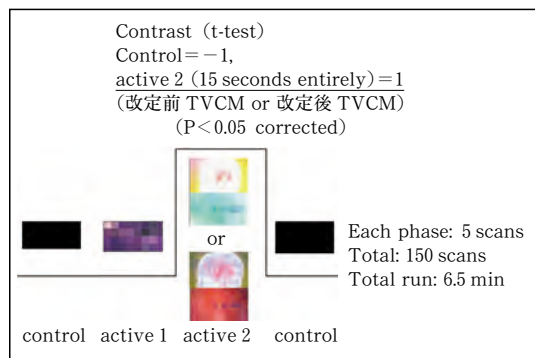


図 18

プターにおける被検者の見え方のシミュレーションをしめす。屈折度数が上がるにつれて直乱視では横縞が、倒乱視では縦縞がそれぞれ判別しづらくなる。また、直乱視では円形視標自体が縦長に、倒乱視では横長に変形して観察されるのがわかる。

また、II で使用した TVCM の修正前、修正後提示時の視覚皮質反応をも 15 秒の刺激 TVCM 提示を 1 ブロックとして同様に BOX-CAR 参照係数下に t-test による賦活の同定をおこなった。図 18 に解析デザインを示す。上記と同様に多重比較条件 $p < 0.05$ をみたま領域を賦活域として同定した。

III-3 結果

図 19 に正視条件下での皮質賦活域をしめす。後頭葉一次視覚領から腹側視覚皮質の賦活が観察される。図 20, 21, 22 にそれぞれ +2.0 D, +4.0 D, +6.0 D 直乱視、倒乱視条件下の賦活を示す。上昇する乱視レンズ度数に平行して、背側皮質の活

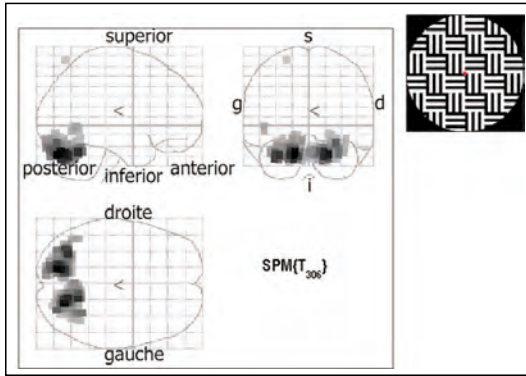


図 19 正視条件下での皮質反応

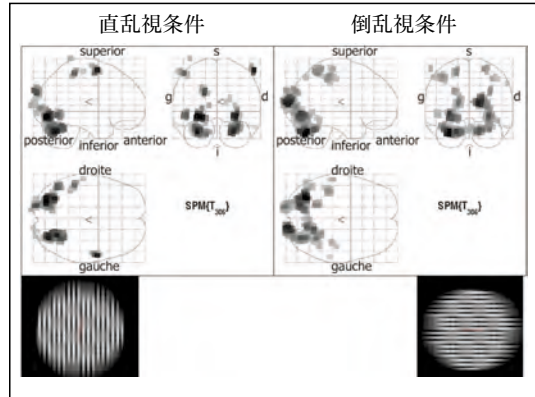


図 22 6 D 乱視条件

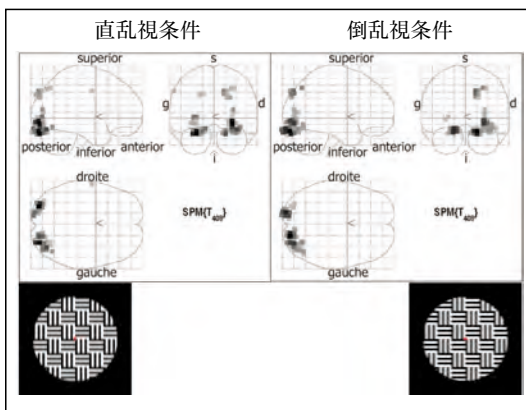


図 20 2 D 乱視条件

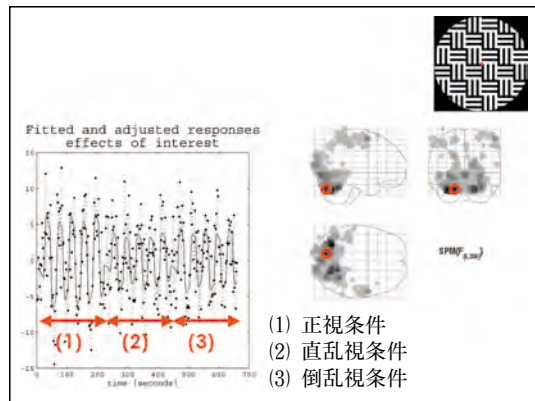


図 23 腹側有線外野における各条件下の信号変化比較

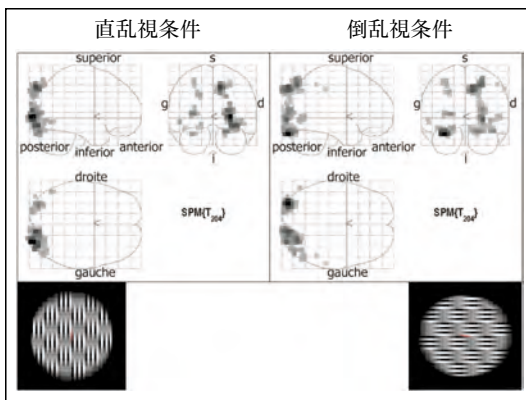


図 21 4 D 乱視条件

動が広範囲に観察された。図 23 に腹側視覚野における信号強度変化をしめす。横軸は時間、縦軸は信号強度を示す。矢印(1)は正視条件の信号強度変化、矢印(2)と(3)は+4.0 D の直および倒乱視条件

における信号強度変化をそれぞれ示している。図 14 に示したとおり各条件下で 5 回の視覚刺激に対応して 5 回の信号強度上昇が観察される。(1) の正視条件における腹側視覚野の信号強度変化は、(2)の直乱視、(3)の倒乱視各条件下に比べ高い振幅を示していることがわかる。図 24 に腹側視覚野において視覚刺激開始から加算した信号強度変化を標準偏差とともに各条件下に示す。形態覚処理を反映する腹側視覚野の信号強度変化は、正視条件に比べ、直乱視、倒乱視条件においては約半分の振幅であることがわかる。図 25 に図 24 と同様に背側視覚野において視覚刺激開始から加算した信号強度変化を標準偏差とともに各条件下に示す。腹側視覚野の反応と反対に背側視覚野における信号強度変化は、乱視条件下においてのみ信号強度の上昇のみみられることがわかる。

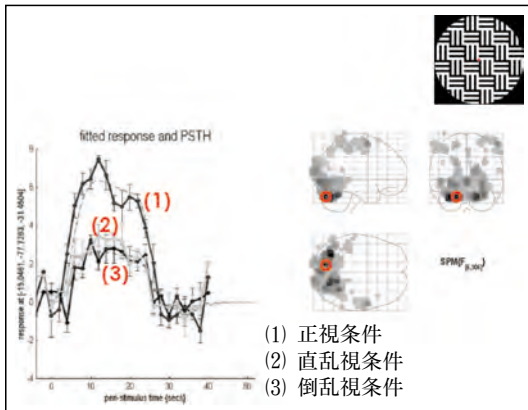


図 24 腹側有線外野における各条件下の信号変化比較

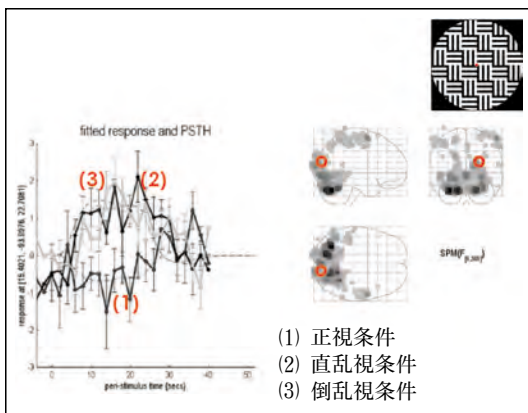


図 25 背側有線外野における各条件下の信号変化比較

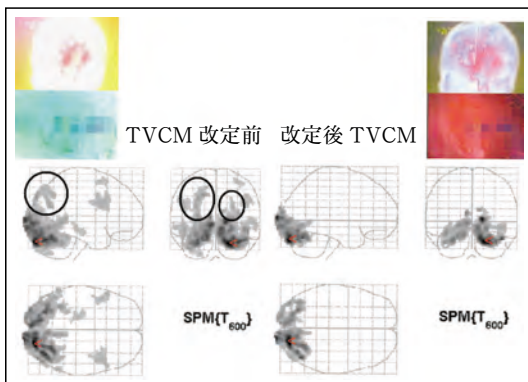


図 26 改定前後 TVCM 提示時の賦活野の比較

図 26 に改定前後の TVCM 提示時の賦活野を
しめす。両視覚刺激ともに後頭葉視覚領に優位な
賦活が観察された。両者を比較すると改定が加え

られる前の TVCM において背側視覚領により広
汎な賦活が観察された。

III-4 考 案

I の図 2 に示したとおり、背側視覚路は主に視
運動覚と空間視の処理に関連するといわれている。
両眼視差を左右眼分離下に視覚刺激として与える
とこの部位の賦活を fMRI により観察することが
できる¹³⁾⁻¹⁴⁾。通常視覚刺激として汎用されるチェッ
カボード反転視標では経験的に腹側視覚路に相当
する領域が背側のそれに比較して得られることが
おおい。本章において、人工的乱視環境下および
輝度変化のおおい TVCM 提示において背側経路
に相当する領域の賦活が観察された。背側視覚路
は、低空間周波数域、高時間周波数域の視覚情報
処理を担当すると考えることができる⁸⁾。輝度変
化を多く含む修正前 TVCM は修正後と比較し、
より低空間周波数、高時間周波数の視覚情報を含
むことから、修正前 TVCM 提示にて背側視覚路
に相当する領域の賦活が観察されたことは視覚情
報処理過程に矛盾しないと考えられる。一方、図
17 で示したように、乱視環境下では像のデフォー
カスに加え乱視軸に依存した方向へのゆがみが生
じる。視覚情報としては、高空間周波数情報と比
較し低空間周波数情報の優位化をきたすもの時
間周波数に関して変化はない。にもかかわらず顕
著な背側視覚路の賦活が得られたことは、空間視
処理過程でなんらかの積極的な修飾がおこなわれ
ることが推察された。また、TVCM に関して、
15 秒の持続のうち改定が加えられた箇所は総計
で 2 秒にみえない。にもかかわらず修正前
TVCM 提示において修正後と比較し明らかな背
側経路の賦活が観察されたことは、同じく処理過
程における積極的な修飾過程を反映するものと考
えられた。

III-5 結 論

今回、背側経路の賦活は、眼底における網膜像
の屈折異常によるボケに対して、または光駆動性
てんかんと思われる発作をおこしうる輝度変化を
含む TVCM 提示によって観察された。比較対照
となる正視条件もしくは改定後 TVCM との差異
を考慮すると背側視覚皮質の賦活は明らかに優位
であった。これより今回観察された背側視覚皮質

の賦活は、不完全なまたは不適切な視覚入力を積極的に修飾し、適応するための反応である可能性が示唆された。

結 語

IにおいてfMRIにて皮質におけるretinotopyを再現した。1.5 T臨床機においてその空間分解能は一般的に3ミリ四方であるといわれている。MEGなどの電気生理学的手法やfMRIとおなじく神経活動にともなう血管動態を観察する近赤外線スペクトロスコピーなどと異なり、深部皮質までこの空間分解能が保たれることは、本手技が優れた非侵襲的脳機能評価法であることを示すと思われた。現在、臨床機として3 Tが認可され本手技にさらに1ミリ四方程度の優れた空間分解能を与えることになる。

IIにおいては、3秒毎のevent-related modelをもちいて視覚皮質の活動を検討した。3秒毎の各シーンにおいて後頭葉に優位な賦活を観察されたことから、本手技は数秒単位の時間分解能を有することが示された。しかし、IIIでBox-Carモデルをもちいた解析では、修正前TVCMにて背側経路に優位な賦活を観察されたことから解析手技を慎重に検討する必要性も推察された。

IIIにおいて、通常もちいられる単純な視覚刺激では遭遇しない背側経路の賦活を観察された。現在われわれが日常生活において遭遇しうる屈折異常による網膜像のデフォーカス、輝度変化の強いTVCMなどに対し、われわれの視覚中枢は積極的な修飾をおこなうことにより適応を試みていることが示唆された。

以上より、fMRIはIT環境にさらされたわれわれの視機能を評価する一手技として有用であり今後より臨床的に活用される可能性が示唆された。

本稿の磁気共鳴画像データの一部は、東京慈恵会医科大学とパリ第VI大学(Pierre et Marie Curie University)間における共同研究(東京慈恵会医科大学主任研究員:北原健二,パリ第VI大学主任研究員EA Cabanis)に基づくものである。

[参考文献]

- 1) Ogawa S, Lee TM, et al: Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance imaging of rodent brain at high magnetic field. *Magn Reson Med* 14 : 68-78, 1990.
- 2) Miki A, Nakajima T, et al: Detection of visual dysfunction in optic atrophy by functional magnetic resonance imaging during monocular stimulation. *Am J Ophthalmol* 122 : 404-415, 1996.
- 3) 吉田正樹, 河合一重ほか: Functional magnetic resonance imagingによる眼球運動時の大脳皮質活動の検討. *日眼会誌* 101 : 879-884, 1997.
- 4) Rosen BR, Belliveau JW, et al: Perfusion imaging with NMR contrast agent. *Magn Reson Med* 14 : 249-265, 1990.
- 5) Edelman RR, Siewert B, et al: Quantitative mapping of cerebral blood flow and functional localization with echo-planar MR imaging and signal targeting with alternating radio frequency. *Radiology* 192 : 513-520, 1994.
- 6) van Zijl PC, Eleff SM, et al: Quantitative assessment of blood flow, blood volume and blood oxygenation by functional magnetic resonance imaging. *Nat Med* 4 : 159-167, 1998.
- 7) Kwong K: Research issues using echo-planar imaging for functional brain mapping. In Shumitt F, Stehling MK, et al(eds): *Echo-planar imaging*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 531-543, 1998.
- 8) 佐藤弘道, 津本忠治: 大脳における視覚情報処理とその可塑性. *視覚情報処理. 眼科 New Insight* 1 : 61-73, メジカルビュー社, 1994.
- 9) 河内十郎訳 S. ゼキ: 脳のヴィジョン. 医学書院 pp. 173-188, 1995.
- 10) Sereno MI, Dale AM, et al: Borders of multiple visual areas in humans revealed by functional magnetic resonance imaging. *Science* 268 : 889-893, 1995.
- 11) 河内十郎訳 S. ゼキ: 脳のヴィジョン. 医学書院 pp. 98-100, 1995.
- 12) 高橋若生: PET/SPECT① 基礎と臨床応用. *画像診断* 22 : 491-499, 2002.
- 13) Nishida Y, Hayashi O, et al: Stereopsis-processing regions in the human parieto-occipital cortex. *Neuroreport* 12(10) : 2259-63, 2001.
- 14) Iwami T, Nishida Y, et al: Common neural processing regions for dynamic and static stereopsis in human parieto-occipital cortices. *Neurosci Lett* 327(1) : 29-32, 2002.

編集後記

日本眼科医会は過去 1986～1989 年に VDT 研究班，1990～1993 年にテクノストレス眼症研究班を立上げ，その時代に即した研究を，多くの優秀な研究者が業績として残してまいりました。

昨今のパソコン，モバイル機器，またゲーム機器の進歩はめざましく，IT 社会とまでいわれるようになってまいりました。このような機器を扱う人間にはどのような障害，またどのように扱っていけば目の健康を守っていけるのかという多くの新たな疑問が生じてきました。

このような時代背景に伴い本会は 2001 年に「IT 眼症と環境因子」研究班を立ち上げました。本研究班は 18 施設の大学，6 医療機関の病院，および 9 施設の研究所の多くの研究者によって構成され，ここに業績集が完成いたしました。

本研究で明らかになったエビデンスを基に，第一線で診療されている多くの会員が日常診療に活用され，患者様の治療や指導の一環に利用される事を希望します。

最後に，本研究班立上げにご努力をされた，前日眼医会長佐野七郎先生，VDT 研究班班長石川哲先生，そして本研究班をまとめられた，京都府立医大眼科教授木下茂班長に感謝申し上げます。

2005 年 3 月

社団法人 日本眼科医会
常任理事 種田芳郎