

Eye-Sensing Display を用いた 眼疲労の客観的検査方法に関する研究

近藤 佑樹^{*1} 西村 泰典^{*2} 石井 裕剛^{*1} 下田 宏^{*1} 吉川 榮和^{*1}

A study on an objective examination method of eye strain by using Eye-Sensing Display

Yuki Kondo^{*1} Yasunori Nishimura^{*2} Hirotake Ishii^{*1} Hiroshi Shimoda^{*1} and Hidekazu Yoshikawa^{*1}

Abstract – Due to the rapid spread of computers, people have heavy visual load that causes modern disease such as Asthenopia and VDT (Visual display terminal) syndrome, and it becomes one of the social issues. In this study, we paid attention to a pupillary light response test as a simple and objective testing method for eye strain and have examined whether the ocular indices of the test can represent the degree of eye strain or not by conducting a subject experiment, in which a VDT task was given to the subjects and their pupillary light response were measured. As the result, it was found that the ocular indices of pupillary light response are effective to estimate the eye strain.

Keywords : eye strain, pupillary light response, autonomic nervous system

1. はじめに

コンピュータの普及によりオフィスではVDT(Visual Display Terminal)作業が増加している。VDT作業は視覚機能への負担が大きいことから多くのVDT作業者が「眼疲労」や「眼精疲労」を訴えている。しかし、眼疲労や眼精疲労に関して現状では自覚症状による自己診断が用いられている。自己診断は主観的であまりな評価であり、眼精疲労に対して適切な治療を行うことができない。従って、眼疲労や眼精疲労を客観的に測定・評価する手法の確立が強く望まれている。

このような背景から本研究では、VDT作業による眼疲労が深刻な問題となっているオフィス環境を想定し、眼疲労の蓄積量を客観的かつ簡便に測定・評価する方法について検討した。眼疲労を直接計測することはできないため、何らかの生理指標との関連を示し、その指標から眼疲労を推定する必要がある。眼疲労と生理指標に関する研究は、臨界融合頻度計測^[1]、瞬目計測^[2]、瞳孔運動計測^[3]など様々な手法で行われている。

本研究では、自律神経支配の不随意運動であり定量的に評価できるという観点から特に瞳孔運動に注目した。そして、本研究室で開発したEye-Sensing Display(視覚系指標計測機能付きディスプレイ)を用いてVDT作業時と休息時の作業者の瞳孔運動を計測し、眼疲労と瞳孔運動の相関関係について検討した。

2. 関連する知見

2.1 視覚機能と瞳孔運動

一般に「眼(め, the eye)」と呼ばれるものは、感覚器である眼球、眼球の受容した視覚刺激を中枢へと伝達する視神経、これらの組織を支持・保護する眼窩、眼球の運動に関する筋組織、神経組織および眼球表面の保護に重要な眼瞼で構成されている^{[4][5]}。これらの組織のうち、瞳孔の機能は散大(散瞳)または縮小(縮瞳)することで眼球内に入る光量を調節することであり、瞳孔の大きさは光そのものの強さよりも光量の変化によって反応する。このように、入射光が一定量以上増加すると瞳孔が収縮する反応が対光反応である。

瞳孔運動を直接行っているのは、虹彩の中に存在する2種類の平滑筋である。すなわち、瞳孔縁から周辺に向かって放射状に分布している瞳孔散大筋と瞳孔周囲に輪状に分布している瞳孔括約筋であり、神経支配はそれぞれ、交感神経および副交感神経によって二重にコントロールされている。光刺激を与えた場合の健康な人の瞳孔は、約0.2~0.3secの潜時をおいて収縮を開始し、約1secで最大収縮に達し、その後散瞳し、元の大きさに戻る^[6]。

2.2 眼疲労

日常的には「眼疲労」と「眼精疲労」という言葉は同じ意味で用いられることが多いが、(社)電子情報技術産業協会EMF専門委員会の報告^[7]に従い、本研究ではこれらを以下のように区別する。

- 眼疲労…眼が重い、物がぼやけるなどの一般的な眼の疲れであり、一定の休息を取るることによって比較的短時間に回復する疲労。眼疲労の蓄積に

*1: 京都大学大学院 エネルギー科学研究科

*2: 現在、トヨタ自動車株式会社

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

*2: Present, Toyota Motor Corporation

より眼精疲労に発展する。

- 眼精疲労… 疲労状態が著しく病的な状態であり、休息を取っても回復しない。視作業を続けることにより、眼部、鼻根部、前額部の不快感、圧迫、頭痛、視力減衰、めまい、吐き気などを訴える。眼疲労は、焦点調節機能に影響を及ぼす毛様体筋などの眼調節系の筋肉疲労と、認知機能に影響を及ぼす視覚情報処理の中枢性疲労の2種類からなる。眼調節系の筋疲労の原因の一つに、近くにあるものを長時間注視し続けることが挙げられる。PCディスプレイや本などの近距離にある物体を長時間注視すると眼の特定の筋肉の緊張状態が続き、筋肉疲労物質が蓄積して眼疲労として現れる。

3. 眼疲労の客観的検査方法の検討

3.1 眼疲労と対光反応

これまでも、臨界融合頻度 (CFF)、眼球運動、瞬目、焦点調節機能など様々な生理的評価指標を用いて眼疲労の程度を推定する試みが行われてきたが^{[1][2][3]}、計測の簡便さや客観性について問題点がある。眼球運動計測や臨界融合頻度計測は自覚的検査であり客観的に評価できず、また、事前に検査内容によく習熟する必要があることから汎用性が低い。同様に、瞬目計測は長時間に渡る計測を必要とし、簡便さに欠けることから汎用性が低い。

一方、瞳孔の対光反応は本人の意識とは無関係に起きる自律神経系の活動であるため、客観的な評価が可能であり検査内容の習熟による影響も見られない。そこで、本研究では瞳孔の対光反応を生理的評価指標として着目し眼疲労の推定を行う。

3.2 瞳孔対光反応解析指標

フラッシュ光刺激提示による対光反応時の瞳孔半径は図1に示すように、約0.2~0.3secの潜時において収縮を開始して約1secで最大収縮に達し、その後散瞳して元の大きさに戻る。一般的にその変化を定量的に評価するための計測指標として最大瞳孔収縮率、潜時、収縮速度、再拡張速度が用いられており^[8]、本研究でもこれらの指標を用いる。以下にこれらの指標の定義を述べる。

最大瞳孔収縮率

$$\text{最大瞳孔収縮率} = 1 - \frac{(\text{最小瞳孔半径})}{(\text{最大瞳孔半径})} \quad (1)$$

最大瞳孔半径は瞳孔の自発動揺^[6]の影響を考慮してフラッシュ光刺激を提示する直前の瞳孔半径の平均を取り、最小瞳孔半径はフラッシュ光刺激により瞳孔が最も収縮した時の瞳孔半径とする。

潜時

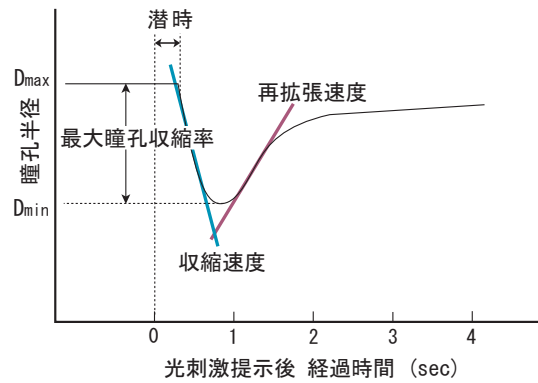


図1 対光反応時の瞳孔半径の変化模式図
Fig.1 Model of pupillary light response.

フラッシュ光刺激提示から瞳孔収縮開始までの時間であり、瞳孔半径が最大収縮率の10%収縮した瞬間を瞳孔収縮開始と定義する。

収縮速度

最大収縮率の10%収縮時から90%収縮時までの瞳孔半径の変化速度であり、単位はmm/secである。

再拡張速度

最大収縮率の10%再拡張時から50%再拡張時までの瞳孔半径の変化速度であり、単位はmm/secである。

4. VDT作業中の瞳孔対光反応測定実験

眼疲労と瞳孔対光反応の各指標の相関関係について検討することを目的とし、VDT作業を伴う被験者実験を行った。被験者には60分間のVDT作業を実施させ、その後、15分間の休息を取らせた。作業中は30分ごとに、休息中は5分ごとに対光反応の計測を行った。また、VDT作業終了直後に眼疲労緩和作用のある点眼薬を使用した場合、点眼薬未使用の場合と比較して眼疲労が有意に回復するかどうかを瞳孔対光反応によって検討した。

4.1 検査項目

瞳孔対光反応

瞳孔対光反応時の瞳孔半径の変化を計測し、3.2節で述べた最大瞳孔収縮率、潜時、収縮速度、再拡張速度の4つを指標を算出した。

自覚症状

日本産業衛生学会産業疲労研究会発行の「自覚症しらべ」^[9]を用い、表1に示すような25項目の質問事項を性質ごとに5つの群(ねむけ感、不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感)に分類し1~5の5段階で評価した。この自覚症調べにより被験者の主観的疲労感を計測して、瞳孔対光反応との相関について検討した。

4.2 実験環境

実験室内は通常のオフィス環境を想定して、被験者用の机、椅子、デスクトップ型PCおよびCRTディ

表 1 自覚症しらべ質問項目

Table 1 Questionnaire of subjective symptom.

1群 ねむけ感	2群 不安定感	3群 不快感
ねむい	不安な感じがする	頭がいたい
横になりたい	ゆううつな気分だ	頭がおもい
あくびがでる	おちつかない気分だ	気分がわるい
やる気がとぼしい	いらいらする	頭がぼんやりする
全身がだるい	考えがまとまりにくい	めまいがする
4群 だるさ感	5群 ぼやけ感	
腕がだるい	目がしょぼつく	
腰がいたい	目がつかれる	
手や指がいたい	目がいたい	
足がだるい	目がかわく	
肩がこる	ものがぼやける	

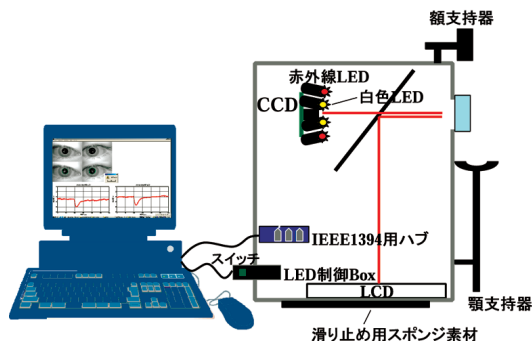


図 2 Eye-Sensing Display システム構成図
Fig. 2 Configuration of Eye-Sensing Display system.

ディスプレイを配置した。室内はエアコンで適温に保ち、また、均一な照明環境で実験を行うためにブラインドで外光を遮光し、照明は室内天井に設置されている蛍光灯のみを使用した。室内の机上面平均照度は 728lx であった。

周囲の照明環境は瞳孔径に影響を与えるため、対光反応計測中は被験者の周りの照明環境を一定にする必要がある。そこで実験室内に暗室を設置し、その中で Eye-Sensing Display を用いて瞳孔の対光反応計測を行った。なお、この暗室内の平均水平面照度は 0.1lx 以下であった。

4.3 Eye-Sensing Display

Eye-Sensing Display (以下、ESD と略す) は、脳機能障害や加齢、疲労などが人間の視覚特性に与える影響を、多様な被験者に対して簡便にかつ精密に計測できる視覚特性計測機能付ディスプレイである^[10]。図 2 にシステムの構成図を示す。

ESD では瞳孔の検出方法に、被験者の負担が少なく簡便に眼球運動が計測できるという理由から、カメラで眼球を撮影し画像処理する方法を採用している。まず、被験者の眼球画像を CCD カメラで撮影する。このとき、瞳孔部分の赤外線反射量が少ないという特性を活かし、赤外線 LED で照明することで、瞳孔部分がより鮮明に映った画像を取得することができる。そして、撮影された両眼の眼球画像は、PC によって画

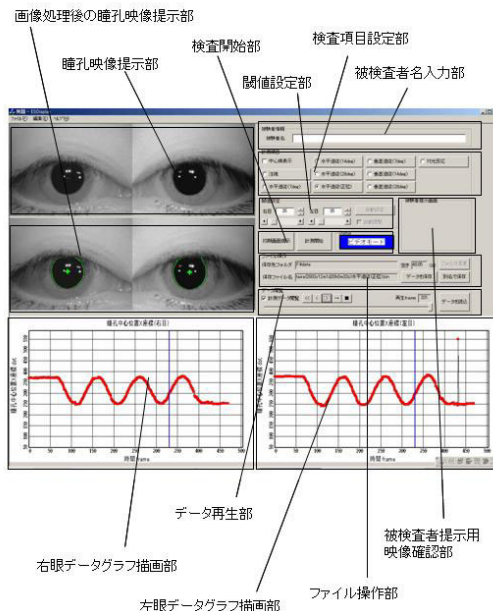


図 3 実験者側インタフェース画面
Fig. 3 Interface display for experimenter.

像処理され、両眼の瞳孔中心位置、瞳孔半径が求められる。その結果は、図 3 に示す実験者側インタフェースで確認できる。

制御用 PC には、DELL 社製デスクトップ PC (CPU: Intel Pentium4 2.6GHz、メインメモリ 4GB) を用いた。また、CCD カメラは Point Grey Research 社の Fire Fly2 を採用した。このカメラは、640 × 480dot のグレースケール画像を 1 秒間に 30 フレーム撮影できる性能を持つ。

瞳孔の対光反応測定では、測定開始 3 秒後に光刺激用の白色 LED を 100msec 発光させ、計測中の瞳孔半径の変化を計測する。その発光強度は対光反応を誘発するのに十分であり、発光時間は対光反応潜時よりも短く、縮瞳による負のフィードバックは生じない。一試行の計測時間は 10 秒である。

4.4 実験手順

実験は表 2 に示すような手順で行い、1 回の実験にかかる時間は全体で 2 時間程度であった。なお、実験は眼疲労が蓄積されていない早い時間帯 (10:00 ~ 12:00 および 13:00 ~ 15:00) に実施した。

実験に先立ち、被験者に眼に関する疾患、視力、視力矯正器具の使用の有無や 1 日の PC 作業時間などをアンケート形式で調査し、実験の実施に支障がないことを確認した。また、対光反応検査中に被験者が瞬目をすると計測が正しく行えないため、フラッシュ光刺激に対して瞬目をしないように練習をする時間を設け

表 2 実験の手順

Table 2 Experimental procedure.

所要時間	実験 A	実験 B
約 10 分	実験概要説明、同意書記入 事前アンケート記入、対光反応計測練習	
10 分	閉眼状態で安静	
1 分	対光反応検査 1 (VDT0min)	
約 1 分	自覚症しらべ記入 1	
30 分	VDT 作業 1	
1 分	対光反応検査 2 (VDT30min)	
30 分	VDT 作業 2	
1 分	対光反応検査 3 (VDT60min)	
約 1 分	自覚症しらべ記入 2	
1 分	点眼薬使用	閉眼状態で安静
1 分	対光反応検査 4 (休息 0min)	
5 分	閉眼状態で安静	
1 分	対光反応検査 5 (休息 5min)	
5 分	閉眼状態で安静	
1 分	対光反応検査 6 (休息 10min)	
5 分	閉眼状態で安静	
1 分	対光反応検査 7 (休息 15min)	
約 1 分	自覚症しらべ記入 3	
計 107 分	終了	

た。ほとんどの被験者は 3 回程度で検査に習熟できた。

眼疲労の蓄積がない状態で VDT 作業を開始するために 10 分間閉眼状態で安静にして休息を取ってから、対光反応検査と自覚症しらべを行い、VDT 作業を開始した。

被験者には VDT 作業として、図 4 に示すような数字探索課題^[11]を課した。これは、PC 画面上に散りばめて表示される数字を制限時間内に 1 から 99 まで順番に探してマウスでクリックしていくというものである。クリアもしくは制限時間切れでゲームオーバーになったら再び最初から始めるという作業を繰り返し行った。この作業課題は簡単な内容ですぐに習熟でき、集中力と短期記憶力が要求され、視点移動を頻繁に行い数字の書かれたチップを探し出さなければならないため、眼疲労を誘発させる作業課題としては適している。

実験中は休憩を挟まず、可能な限り VDT 作業課題に集中して取り組み、眼疲労を緩和する可能性のある目のマッサージや実験用以外の点眼薬の使用は控えるように注意した。2 時間の VDT 作業を課した予備実験を行ったところ、作業開始後 60 分で対光反応指標に変化が見られなくなったため、VDT 作業時間は 60 分とし、VDT 作業開始 30 分後と 60 分後に対光反応検査を行った。

VDT 作業開始 60 分後に対光反応検査と自覚症しらべを行ってから実験 A では点眼薬を使用し、実験 B では点眼薬を使用せずそれに相当する時間閉眼状態で安静にもらった。その後、休息を開始して 15 分経過後まで 5 分ごとに対光反応検査を行った。休息は

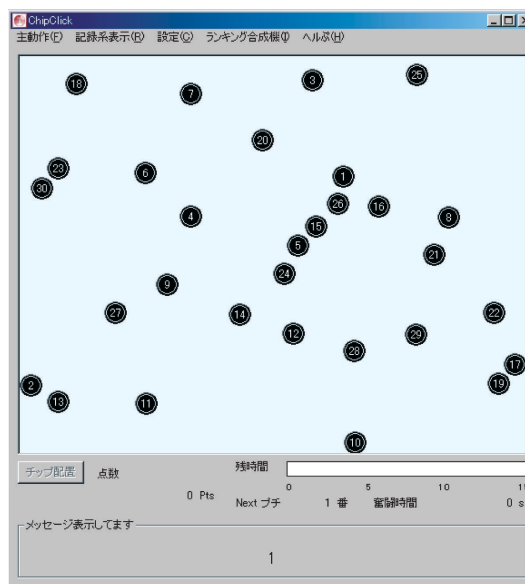


図 4 数字探索問題インターフェイス

Fig. 4 Interface display of number seeking task.

VDT 作業を行った座席に座ったまま閉眼状態で安静にするという方法で統一した。最後に自覚症しらべを行い、実験を終了した。

対光反応検査は 2 回繰り返して行い、1 回目に計測したものをデータとして採用し、被験者が瞬目してしまった場合など 1 回目の計測に失敗した場合は 2 回目に計測したものを採用した。実験では 2 回とも計測に失敗したことはなかった。なお、繰り返しフラッシュ光点灯刺激を提示した場合において、瞳孔の初回の反応とそれ以降の反応に違いはない^[6]。

4.5 被験者

屈折異常以外の眼科的異常所見のない 19~24 歳の男女 15 名 (男性: 11 名、女性: 4 名、平均年齢 20.7 歳) を対象にその右目 15 眼を被験眼として、2 種類の実験 (実験 A、実験 B) を 1 日 1 種類、2 日間かけて行った。被験者を半数ずつ 2 つのグループに分け、順序を逆にして実験を行った。

4.6 対光反応の計測結果

対光反応の経時的変化の計測結果を全被験者の平均値について図 5~9 に示す。最大瞳孔収縮率は図 5、潜時は図 6、収縮速度は図 7、再拡張速度は図 8 に示し、平均値の時間変化率について、VDT 作業前を 1 とし正規化したものを図 9 に示す。

最大瞳孔収縮率

VDT 作業 30 分後 (VDT 30min) と 60 分後 (VDT 60min) の最大瞳孔収縮率は作業前 (VDT 0min) に対して有意に低下し ($p < 0.01$)、30 分後と 60 分後の間には有意差がなかった。また、VDT 作業によって低下した最大瞳孔収縮率は休息を取ることで上昇し、休

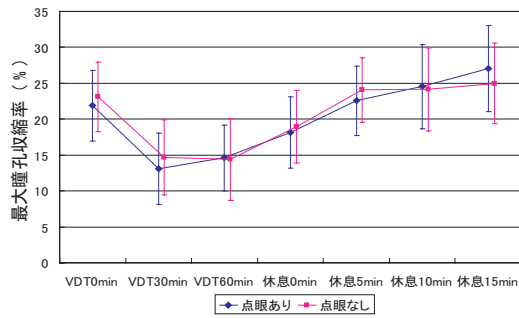


図5 最大瞳孔収縮率の変化
Fig. 5 Variation of maximum constriction ratio.

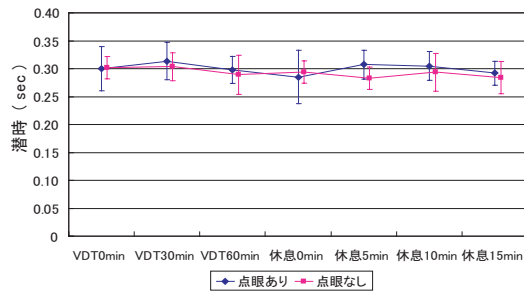


図6 潜時の変化
Fig. 6 Variation of latency.

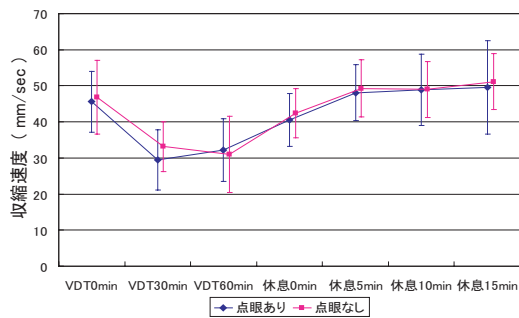


図7 収縮速度の変化
Fig. 7 Variation of constriction velocity.

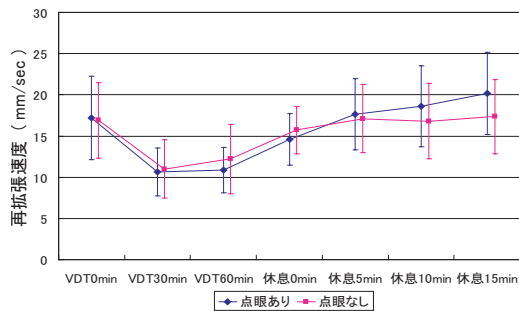


図8 再拡張速度の変化
Fig. 8 Variation of dilatation velocity.

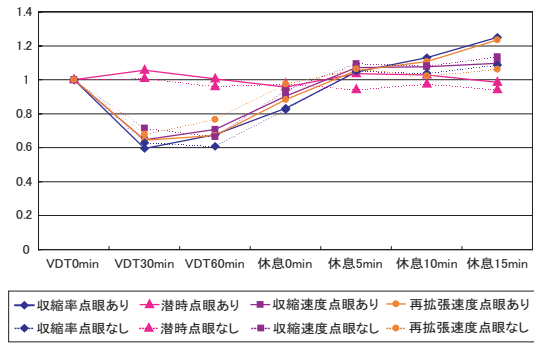


図9 各指標の時間変化率
Fig. 9 Time variation rate of indices.

休息 5 分後 (休息 5min) には作業 60 分後に対して有意に高く ($p < 0.01$)、作業前とは有意差がなかった。なお、点眼薬の有無によって上昇の度合いに有意差はなかった。

潜時

潜時は VDT 作業開始から休息終了までのすべての間、有意に変化しなかった。潜時は視覚情報の神経伝達速度を反映することから、この実験では神経系ではなく眼の筋肉が疲労したことになる。

収縮速度

VDT 作業 30 分後 (VDT 30min) と 60 分後 (VDT 60min) の収縮速度は作業前に対して有意に低下し ($p < 0.01$)、30 分後と 60 分後の間には有意差がなかった。また、VDT 作業によって低下した収縮速度は休息を取ることで上昇し、休息 5 分後 (休息 5min) には作業 60 分後に対して有意に高く ($p < 0.01$)、作業前とは有意差がなかった。なお、点眼薬の有無によって上昇の度合いに有意差はなかった。

再拡張速度

VDT 作業 30 分後 (VDT 30min) と 60 分後 (VDT 60min) の再拡張速度は作業前に対して有意に低下し ($p < 0.01$)、30 分後と 60 分後の間には有意な差がなかった。また、VDT 作業によって低下した再拡張速度は休息を取ることで上昇し、休息 5 分後 (休息 5min) には作業 60 分後に対して有意に高く ($p < 0.01$)、作業前とは有意差がなかった。なお、休息 15 分後には点眼薬を使用した方が使用しなかった方に比べ再拡張速度は有意に上昇した ($p < 0.05$)。

4.7 自覚症しらべの評価結果

「自覚症しらべ」の 25 個の質問 (5 点満点) をその性質ごとにそれぞれ 5 つずつ 1~5 群 (1: ねむけ感、2: 不安感、3: 不快感、4: だるさ感、5: ぼやけ感) に分類し、各群ごとに平均値を求めた。その経時変化を表 3 に記す。

自覚症しらべによって得られた自覚的疲労感のうち、VDT 作業後の指標値が作業前と比較して有意に上昇

表3 自覚症しらの結果
Table 3 Results of subjective symptom.

	点眼あり			点眼なし		
	作業前	作業後	休息後	作業前	作業後	休息後
1群 ねむけ感	2.3	2.3	2.1	1.9	2.3	2.0
2群 不安定感	1.3	1.6	1.4	1.2	1.4	1.2
3群 不快感	1.5	1.8	1.6	1.4	1.7	1.4
4群 だるさ感	1.4	1.8	1.4	1.3	1.8	1.5
5群 ぼやけ感	1.7	2.6	2.1	1.9	2.5	1.8

したのは差が大きい順に、4群だるさ感 ($p < 0.01$)、5群ぼやけ感 ($p < 0.01$)、2群不安定感 ($p < 0.05$)であり、3群不快感、1群ねむけ感については有意な上昇はなかった。このうち、ぼやけ感の項目は眼疲労を反映する質問から構成されているため、実験で行ったVDT作業によって眼疲労が蓄積したといえる。

VDT作業によって上昇した指標値は休息によりほとんどの指標について作業前の水準まで低下したが、実験Bの4群だるさ感と実験Aの5群ぼやけ感については作業前と比較して有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。

また、対光反応のうち最大瞳孔収縮率、収縮速度、再拡張速度の3つの指標と自覚症しらのうち眼疲労の自覚症状を示すぼやけ感の間には弱い相関関係が見られた。

5. 考察

先に述べたように、瞳孔は自律神経支配であり、瞳孔括約筋、瞳孔散大筋ともに交感神経と副交感神経の二重支配を受けているが、瞳孔運動速度から分析すると、対光反応による縮瞳、散瞳は次に示すようないくつかの要因から構成されている^[12]。

1. 縮瞳：主に副交感神経の興奮性反射活動である。他に比べ早い速度で収縮する。
2. 第2次収縮相：主に中枢性の交感神経活動が徐々に増加することによる副交感神経抑制による。収縮速度はやや緩やかであり、この時に瞳孔径が最小に達する。
3. 初期再散瞳：主に副交感神経活動の減少による再散瞳で、比較的散瞳速度は速い。
4. 第2次再散瞳：主に頸部交感神経線維をインパルスが通過することによるもので、散大速度は初期散瞳相に比べやや遅い。

この分類によると、本研究で用いた4つの評価指標は初期収縮相から初期再散瞳相までの瞳孔運動について算出されたものであり、副交感神経のみが作用する時間領域である。

副交感神経興奮点眼薬の使用によって最大瞳孔収縮率、収縮速度、再拡張速度が低下することが内海^[13]の研究によって報告されている。また、脳の賦活系と抑制系のうち、抑制系が有意になった時に疲労が出

現するという知見が得られている。従って、VDT作業によって最大瞳孔収縮率、収縮速度、再拡張速度が低下したという結果は副交感神経系の興奮状態と解釈できる。

瞳孔運動において副交感神経と密に関係があるのは瞳孔括約筋であり、VDT作業中にモニターを眺めることで瞳孔括約筋が収縮し続けて疲労を蓄積したと推測できる。

VDT作業終了後に休息を取り、5分後には瞳孔の対光反応指標の3つの指標に有意な回復が認められたが、これは1時間程度のVDT作業後に10~15分程度の休息を取るようにとの厚生労働省の勧告^[14]の妥当性を客観的指標により示したことになる。

6. まとめ

瞳孔の対光反応のうち、最大瞳孔収縮率、収縮速度、再拡張速度の3つの指標はVDT作業の前後および休息の前後で有意に変化したことから、眼疲労を客観的に推定する指標として有効であることが分かった。オフィス勤務時間と同程度の長時間に渡って、眼疲労と対光反応の関係を調べるのが今後の課題である。

参考文献

- [1] 西村, 森本, 岸本, 新居: VDT作業による疲労の主観表価値と客観的測定値との相関; テレビジョン学会誌, Vol.40, No.12, pp.1239-1244(1986).
- [2] 山田, 三戸, 宮田: 視覚疲労の他覚的指標としての瞬目活動; 関西鍼灸短期大学年報, Vol.5, pp.86-95(1989).
- [3] 星野, 渡辺, 斉藤: 精神疲労推定のための瞳孔対光反応の解析; テレビジョン学会誌, Vol.49, No.5, pp.657-664(1995).
- [4] 大野, 澤, 木下: 標準眼科学, 医学書院 (1981).
- [5] 入来, 外山: 生理学, 文光堂 (1986).
- [6] 松永: 瞳孔運動の心理学, ナカニシヤ出版 (1990).
- [7] (社)電子情報技術産業協会 EMF 専門委員会: 「眼精疲労」という用語の使い方などの調査報告; 技術報告書: JEITA-EMF-R0504(2005).
- [8] 史, 郭, 福島, 内山, 福本: 対フラッシュ光縮瞳反射を用いた新しいアルツハイマー型痴呆簡易検査システム, 医用電子と生体工学, Vol.39, No.2, pp.8-13(2001).
- [9] 日本産業疲労研究会ホームページ, <http://square.umin.ac.jp/of/index.html>(2006年7月31日現在).
- [10] 服部, 城田, 下田, 石井, 吉川: Eye-Sensing Displayを用いた脳機能障害のスクリーニング検査システムの構築と評価実験ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.5, No.5, pp.23-26(2003).
- [11] ChipClick 公開ホームページ, <http://www.vector.co.jp/games/soft/win95/game/se262423.html>(2006年7月31日現在).
- [12] Lowenstein, O.&Loewenfeld, et al.: The pupil.In H.Davson(ed.); The eye, Vol.3, Academic Press, New York, pp.255-337(1969).
- [13] 内海: Open-loop 赤外線電子瞳孔計による対光反応の基礎的分析; 日眼会誌, Vol.83, pp.1524-1529(1979).
- [14] 厚生労働省労働基準局: 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」の策定について (2002).