

視覚疲労測定法

齊藤 進

労働省 産業医学総合研究所

〒214 川崎市多摩区長尾 6-21-1

1. はじめに

“疲労”の意味する内容については、恐らくすべての人が実感として容易に理解することができるであろう。これとは対照的に、疲労の現れるメカニズムについて科学的に記述することは、現在の我々の知識では不可能に近い。もちろん動物の摘出した筋肉標本について、反復刺激によって収縮を繰り返した結果として起こる筋疲労現象を、生理学的あるいは生化学的に考えることはできる。しかし本稿で以下に述べようと思うのは、このような筋疲労とは別に分類される、一般疲労 (general fatigue) のうち特に視覚機能に関連した疲労である。視覚疲労の本態は、物質代謝の過程として理解することができる筋疲労と比較して非常に複雑であり、決して明らかになっている訳ではない。

視覚疲労に関係した研究は古くから活発に行われており、これらの成果を解説したハンドブックなども多く出版されている^{2,3)}。この方面の研究は、コンピュータ端末に従事する人々のストレスや健康の問題が社会的に問題視された結果として、1970年代後半から大いに進展した⁴⁾。VDT (Visual Display Terminal) 作業と呼ばれる業務形態もすでに一般化しており、多くの人々が自らは意識せずに、VDT作業員として日常の仕事を行なっている現状である。ヒトとコンピュータとの望ましい関係を確立することを目的とし、VDT作業に関連した疲労を科学的に議論するための国際会議が頻繁に開催されている^{5,6)}。以下にこのような研究成果に基づき、視覚疲労計測の歴史と現状について、簡単に紹介

することにする。

2. 疲労測定 of 歴史—疲労は測定できるのか?

約35年前にわが国で刊行された「疲労判定のための機能検査法」⁷⁾が、筆者の手許にある。この本の編者である桐原が、序文に次のような興味ある記述をしている。“そもそも疲労とは、…体験的現象である。故にそれは評定する (evaluate) ことは出来るが、測定する (measure) ことはできない。”このように、疲労研究に永く携わっている専門家から、疲労は測定できないことがすでに結論されている訳である。同じことは「疲労の研究」を著わした大島によっても指摘されており、“疲労そのものは計測対象とはならず、主観的な感じであり、客観的に計測される種々の現象、仕事の内容の変化などをもとにして抽象化された概念”として捉えられている⁸⁾。つまり、疲労はそれ自体は計測できず、生体現象を計測し解析した結果そこに疲労する前の対照値との違いがあれば、そこから上位概念として疲労の存在を考えようというものである。

なお疲労調査の方法で、主観的な疲れの状態を質問紙やアンケートなどで自覚症状として調べる方法がある。代表的な調査表は、30項目の質問で構成されている「自覚症状しらべ」(日本産業衛生学会 産業疲労研究会)^{3,9)}である。この論文では、このような主観的な疲れの訴えを分析する方法には言及しない。生理的な方法でとらえることのできる疲労現象に限ることにする。

3. 視覚疲労と関連した生体計測

視覚疲労の計測に関連し、上述した古典的刊行書のなかで、疲労判定のための視機能検査として詳細に解説されている項目と概略を列記すると、次のようである。

1：視力

(2時間にわたる視力の連続測定の結果が低下することを示し、疲労検査への応用に言及している)

2：視野

(通常の眼科的視野計測とは異なり、CFF値(フリッカー値)を中心視と周辺視で測定して比較する。産業場面での監視作業など、周辺視の重要さからの配慮である)

3：近点距離

(明視できる最も近い距離を近点として測定し、作業開始後の近点短縮とその後の延長をデータとして示し、近点が延長しはじめるときを疲労発現時期としている)

4：角膜知覚

(リングル液に浸した綿糸を電極として角膜に接触し、通電により生ずる異常感を手掛かりに角膜知覚を定量的に計測する)

5：ちらつき値

(フリッカー光の臨界融合頻度を計測し、この値の低下が中枢疲労の判定に有用であることを多くのデータから示している。筋疲労や精神疲労ともに利用可能としている)

6：本川式電気閃光法

(両眼外側に配置した電極に電流を通じ、ちらつき感度を測定する。疲労により感度が低下し、感ずるまでの電流の強さが増加する)

7：プリンカー値

(回転円盤上の図形を認識できる最大の回転速度を計測し、瞬目を頻繁に繰り返したときにこの値が上昇する。これをプリンカー値といい、中枢並びに筋系の疲労の指標となるという)

8：瞬目度数

(種々の場面で瞬目運動を記録し、全般的疲労検査法として瞬目度数の計測が役立つ可能性を紹介している)

以上に紹介した測定項目は、一部を除き現在でも視覚疲労の生理的評価のため、多くの研究者に利用されている。この間に著しく進展した計測技術と、産業場面における作業形態の変化に伴う視覚疲労測定の重要さの増大にも拘らず、疲労測定技術の本質に大きな変化の無いことは特記される。

4. 視覚疲労測定キーワード

1970年代後半から急速にVDT機器が職場に導入され、これを扱う作業者に安全や健康障害についての課題があることが指摘されるようになった。そこでVDT作業のエルゴノミクスを科学的に議論するため、1980年3月にイタリアのミラノで初めての国際会議が開催された⁹⁾。この会議でスウェーデンの人間工学者Östbergが、視覚疲労の客観的評価基準に関する論文を発表している¹⁰⁾。その中で彼は、これまでの研究から視覚疲労に関係する測定項目をまとめて;

読む速度と理解

視線移動

瞳孔直径

まばたき率

まぶしさ感度

暗順応時間

フリッカー値

近視化と内斜位

などが検討されてきたとしている。この報告で、疲労評価の研究で最も有望なことは、眼の屈折力を測定することであると結論している。実際、VDT作業の負担と疲労を客観的に評価するときに最も頻繁に利用されているのは、焦点調節機能である。わが国におけるVDT作業の研究を労働衛生学的観点から総説した優れた論文が、西山によりまとめられている¹¹⁾。これによれば、VDT作業だけで生じる疲労を評価できる唯一の指標はないと結論されている。また同時に、疲れの自覚症状に対応する生理的指標もほとんどないとしている。

つぎに疲労に関連する視機能について、文献

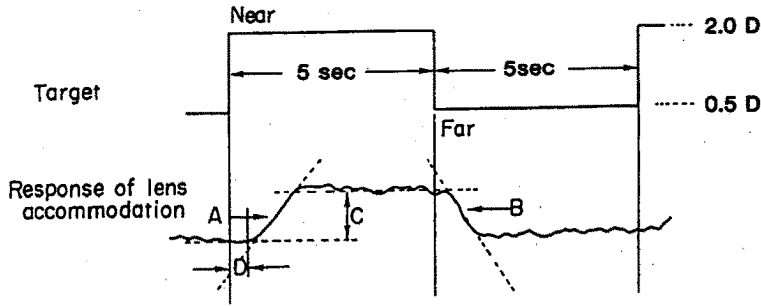


図1 調節のステップ応答の記録。

A : 調節緊張速度 B : 調節弛緩速度
C : 調節応答量 D : 遅れ時間

検索を行った結果について簡単に紹介する。検索したデータベースは、ダイアログのファイル番号155 (MEDLINE)である。このファイルには、1966年から検索時点 (1992年11月22日)までの情報が集積されている。以下に、キーワードとして使った検索語と検索された件数について示す。

EYE	92,434件
FATIGUE	11,054件
EYE and FATIGUE	222件
EYE and STRAIN	559件
EYE and IRRITATION	467件
ASTHENOPIA	320件

これらの研究において、視覚負担や疲労を評価するための機能検査方法として、視力、屈折、調節、眼位、両眼視、眼球運動、瞳孔運動、視野、色覚、光覚、フリッカー値、眼圧、瞬目、流涙などが用いられていることがわかる。このうち調節、瞳孔運動、眼球運動の測定について次に述べる。

5. 視覚疲労に関連した生理的測定

5.1 調節の測定

焦点調節時の屈折力変化を、赤外線オートメータにより比較的容易に記録することができる。図1に、視標距離をステップ状に変化させたときの調節応答の模式的記録と評価指標を示す。応答の傾きと振幅つまり調節緊張速度と調節応答量が、疲労や視環境条件と関連して変化

することが報告されている^{12,13}。一般に視対象が見にくい時や疲労にともなって、調節緊張速度が低下することが知られている。これらの研究は他覚的に調節応答を記録解析したものである。これとは別にわが国に特徴的な方法として、前後に運動する視標の自覚的なボケを手がかりとする調節検査法が広く行われている。この方法は、国際的にはほとんど利用されておらず、計測値も他覚的な計測結果と異なる¹⁴。鶏飼が指摘しているように¹⁵、自覚的調節検査には調節以外の機能が含まれるので、結果を定量的に扱うには問題が多い。

5.2 瞳孔運動の測定

視覚作業時の瞳孔運動を計測することにより、適切な照明や視環境設計などについての人間工学的情報を得ることができる。そのために有用な、携帯型瞳孔計測装置が開発されている^{13,16}。種々の照明条件下で視覚作業を行って

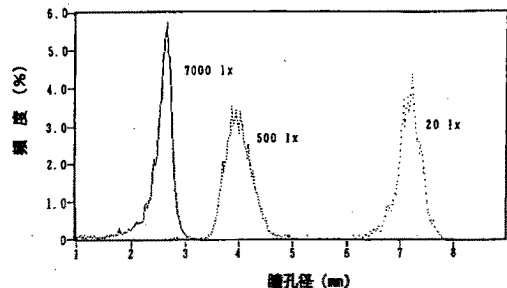


図2 3種の照明条件下で視覚作業を行ったときの瞳孔径ヒストグラム。中程度の明るさで瞳孔が入射光量制御に役立つことがわかる。

るときの瞳孔運動を計測した例を、図2に示す。このような瞳孔解析により、陽画表示（明るい背景に暗い文字を提示する方式）のディスプレイが人間工学的に優れていることが確認されている¹⁷⁾。VDT作業を続けたときの疲労と瞳孔径の関係については、作業負荷により縮瞳傾向が認められるとする解析結果が、実際の作業場面¹²⁾と実験場面¹⁸⁾とについて報告されている。

5.3 眼球運動と疲労特性

上述したように調節や瞳孔には、視覚疲労による生理的特性の劣化などの影響が認められる。これに対して外眼筋の性質は特殊であり、5時間の視標追跡を最大速度で継続した後でもサッケードの頻度、正確さ、作業成績などに定量的な変化は見られない¹⁹⁾。わずかに部分的に運動速度の低下がサッケードの鈍りとして、定性的に観察されることがある^{19,20)}。しかしこのような時でも、自覚的な疲れの訴えは当然ながら非常に強い。むしろ眼球運動に疲労特性の少ないことが、過度の視覚作業を継続させ、メンタルストレスなど多くの産業医学的問題を生ずることになると考えられる。

6. おわりに

VDT機器の導入による視覚負担と疲労の増大は、今後ともあらゆる場面で加速することが考えられている。はじめに述べたように、疲労とはそれ自体が直接測定されるものではない。したがって個々の生体計測で得られる特性値で表現されるものではなく、概念として存在するものである。しかし疲れの少ない快適な生活環境を考え設計するためには、なんらかの方法で科学的かつ客観的に、疲労現象を記述することが必要である。幸いコンピュータ利用による情報処理技術の高度化を背景とし、疲労の評価技術にはいくつかの進展が見られる。この方面の研究が、今後益々重要となることを最後に指摘したい。

謝辞：視覚疲労測定のキーワードの項で、文献

検索にご協力頂いた産業医学総合研究所外山みどり研究員に感謝します。

文 献

- 1) E. Grandjean: *Fitting the task to the man*. Taylor & Francis, London, 1988 (中迫 勝・石橋富和 (訳) : 産業人間工学, 啓学出版, 1992) .
- 2) 三浦豊彦 (編) : 現代労働衛生ハンドブック. 労働科学研究所, 1988.
- 3) 日本産業衛生学会 産業疲労研究会 (編) : 産業疲労ハンドブック. 労働基準調査会, 1988.
- 4) E. Grandjean and E. Vigliani (eds): *Ergonomic aspects of visual display terminals*. Taylor & Francis, London, 1980.
- 5) H.-J. Bullinger (ed): *Human aspects in computing*. *Advances in human factors/ergonomics* 18A,18B, Elsevier, Amsterdam, 1991.
- 6) H. Luczak, A. Cakir and G. Cakir (eds): *Work with Display Units (Abstract book)*. Technische Universität Berlin, Berlin, 1992.
- 7) 桐原葆見 (編) : 疲労判定のための機能検査法. 日本産業衛生協会, 1957.
- 8) 大島正光: 疲労の研究. 同文書院, 1964.
- 9) 吉竹 博: 産業疲労—自覚症状からのアプローチ. 労働科学研究所, 1981.
- 10) O. Östberg: *Accommodation and visual fatigue in display work*. E. Grandjean and E. Vigliani (eds): *Ergonomic aspects of visual display terminals*. Taylor & Francis, London, 1980, pp. 41-52.
- 11) K. Nishiyama: *Ergonomic aspects of health and safety of VDT work in Japan: a review*. *Ergonomics*, 33, 659-685, 1990.
- 12) 広瀬直文, 秋谷 忍, 斉藤 真, サシトーン テープトラカンボン, 斉藤 進: VDT作業時の瞳孔運動と疲労特性. 第64回日本産業衛生学会講演集, 153, 1991.
- 13) 斉藤 進: OA化と視覚エルゴノミクス. あたらしい眼科, 8, 189-195, 1991.
- 14) 斉藤 進, 石川和夫, 畑田豊彦: 水晶体焦点調節の自覚的応答と他覚的計測の違いについて. 日本眼光学学会誌, 10, 218-221, 1989.
- 15) 鶴飼一彦: 調節. 石川 哲 (編) : *VDT医学マニュアル*. 全日本病院出版会, 1989, pp. 56-58.
- 16) 斉藤 進, サシトーン テープトラカンボン, 広瀬直文: 視環境評価のための瞳孔計測. 人間工学, 26, 特別号, 410-411, 1990.

- 17) S. Taptagaporn and S. Saito: How display polarity and lighting conditions affect the pupil size of VDT operators. *Ergonomics*, 33, 201-208, 1990.
- 18) S. Saito and S. Taptagaporn: Pupillary reflexes and accommodation as physiological indices of visual fatigue due to VDT operation. *H.-J. Bullinger (ed): Human aspects in computing: Design and use of interactive systems and work with terminals*. Elsevier, Amsterdam, 1991, pp. 233-237.
- 19) S. Saito: Does fatigue exist in a quantitative measurement of eye movements? *Ergonomics*, 35, 607-615, 1992.
- 20) A. T. Bahill and L. Stark: Overlapping saccades and glissades are produced by fatigue in the saccadic eye movement system. *Experimental Neurology*, 48, 95-106, 1975.