

ディスプレイ画面を用いた繰り返し作業による 色フリッカー値の変動 (図6)

岩崎 常人・栗本 晋二 (産業医科大学眼科学教室)

Changes of Colored Critical Flicker Fusion Values During the Experimental Repetitive Task with Display Screen

Tsuneto Iwasaki and Shinji Kurimoto

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

要 約

作業速度と作業量の違う2種類の視作業を実験的にディスプレイ画面の上で与え、その時の色フリッカー値を経時的に測定した。その結果、両作業の間でフリッカー値の変動パターンに差は認められなかったが、緑色と黄色フリッカー値は作業開始30分後に有意な低下を示し、その後は作業前値に回復する傾向をみた。しかし赤色フリッカーについては、作業開始15分後にすでに有意な低下を認め作業終了まで続いた。これらの事から、ディスプレイ画面の様な光を直視する作業においては、フリッカー値の低下は、精神疲労や大脳中枢の活動水準や意識レベルを表すと考えるより、網膜や大脳より下位の機能の低下を反映した結果であると考える事がより妥当である事が示唆された。(日眼 91:383-389, 1987)

キーワード：色フリッカー値、視作業、ディスプレイ画面、眼精疲労

Abstract

Normal subjects underwent a loaded experimental visual task, named a calculating-discrimination task, on a display screen, under two working conditions differing in working speed and amount of work. Colored (red, green and yellow) critical flicker fusion (CFF) values were measured every 15 min during the task. As a result, no changes of colored CFF values were found between both groups. In the time course of changes, however, it was recognized that green and yellow CFF values deteriorated significantly ($p < 0.01$ and $p < 0.05$ respectively) within only 30 min after loading but red CFF value decreased significantly ($p < 0.01$) from the 15th min after starting the task, continuing until the end of it. These results suggested that the decrease of CFF value, in particular work observing light directly such as often using a display screen, indicated a deterioration of retinal function rather than one of brain function such as mental or psychological fatigue. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 383-389, 1987)

Key Words: Colored-CFF, Visual task, Display screen, Eyestrain

別刷請求先：〒807 北九州市八幡西区医生ヶ丘1番1号 産業医科大学眼科学教室 岩崎 常人

Reprint requests to: Tsuneto Iwasaki, Dept. of Ophthalmol., Univ. of Occupational and Environmental Health, Japan

1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyusyu 807, Japan

(昭和61年12月3日受付) (Accepted December 3, 1986.)

I 緒 言

フリッカー値の低下が意味する生理学的な現象は、未だに明確にされていない。疲労研究の領域においては、フリッカー値の低下が、精神疲労の発現や大脳中枢の覚醒水準の低下、意識水準の低下と相関すると云われ^{1)~9)}、視覚系における末梢の疲労よりも、むしろ中枢の疲労や精神的疲労の定量化の尺度として使われている。精神医学の分野では、薬剤の心理的鎮静効果の判定にフリッカー測定が使用されており^{10)~12)}、脳波の変動ほど著明な感受性を示さないが、大脳機能の高低を表す指標として充分である事が認められている。

ところが、眼科学の領域におけるフリッカー検査の応用はむしろ網膜^{13)~16)}と視路疾患^{17)~20)}に充当され、フリッカー検査は種々ある視覚機能の検査のうち伝導機能の変化を捉える事に対して、より有用性を発揮するとまで云われる²¹⁾²²⁾。また、何ら眼科的疾患を有さず健康な正常人における眼圧とフリッカー値の関係では、正常範囲内で眼圧の高いほどフリッカー値の低下が観察され、正の相関関係が認められた²³⁾。

以上の様にフリッカー値低下のもつ生理学的意味付けは、大脳中枢の覚醒水準の低下や活動水準の低下、精神疲労だけによって解釈され得るものではなく、網膜の機能や視神経、視索を含む視覚系全般に渡る統合された機能低下の部分現象と考えられる。

特に網膜機能の現れは、各波長別の色フリッカー値において認められる。本来フリッカー値は光源のもつ波長の違いによって値が変化しないとする成書もあるが²⁴⁾、大島²⁵⁾や外間²⁶⁾、横井²⁷⁾等の結果からは、同一輝度においては青色や赤色の短波長や長波長ではフリッカー値が低下し、緑色や黄色の中波長では最もフリッカー値が高く、フリッカー値は波長によって異なる事が認められており、網膜の視感度曲線に非常に類似している。さらに外間²⁶⁾の報告では、眼疾患患者の色フリッカー値が網膜疾患や視路疾患で特異な型を示す。例えば視神経疾患では、緑色や黄色フリッカー値が青色や赤色フリッカー値よりも逆に著しく低下し、黄斑部変性症や網膜色素変性症では、正常の色フリッカー値と同じ型をとどめるが、全体として値が減少する型を示すと云う。

ところで、現今のVDT (Visual Display Terminal) 作業を始めとした視覚情報処理型作業の普及は、視覚疲労 (visual fatigue) または眼精疲労 (eyestrain) 発現の頻度を増加させ、その発症要因を複雑多岐にし

た²⁸⁾。人間に与えられる複雑な負担要因の解明に対して、フリッカー値の測定が、その操作性の容易さと感受性の高さから頻繁に使用されている。その意味においてフリッカー測定によって得られる値の生理学的意味を明確にしておく事は、今後ますます複雑となる事が予想される労働環境にあって、視機能への影響をフリッカー検査を媒体として調査検討する上において重要な課題である。

そこで、視作業を負荷する事による、色フリッカー値の変動を経時的に捉え、作業負担の視覚機能へ及ぼす影響をフリッカー融合の生理的現象の解明と併せて実験的に検討した。

II 方法

1. 対象

被験者には、眼科的疾患を有しない正視眼の健康な22歳の女子9例を用いた。実験2で行う視覚作業に対して、同様の作業を過去に6回行い、作業内容については十分に習熟している被験者であった。

2. 色フリッカー値の測定

フリッカー値の測定には、発光ダイオードを使用したフリッカー検査機 (ハンディフリッカ HF[®], ナイツ) を使用した。視標部には赤色 (660nm) と緑色 (555nm)、黄色 (570nm) の輝度 (120cd/m²) を同一とする発光ダイオードが使用され、視標の大きさをそれぞれ直径8.7mmの円形とする、パルスデューティー比50%の矩形波にて刺激を行った。

フリッカーの融合は、これらの視標を両眼固視させ、ちらつかなくなった時点を被験者に応答させる上昇法により求め、3回の測定の平均値をその時のフリッカー値とした。3色を有するために測定色の順番は、3色がそれぞれ第1番目、2番目、3番目となる様に3通りの型を考慮し (赤→緑→黄、緑→黄→赤、黄→赤→緑)、実験1においては各被験者に3通りの全ての型を試行しその平均をとり、実験2においては9例の被験者に均等にそれらの測定順番が割り当てられる様にし、測定順番による誤差をなくした。

実験1. 視距離によるフリッカー値の変動

ここでは視距離の変動がフリッカー値に及ぼす影響を検討し、実験2での視覚作業の影響を見るための最適な測定条件の一つを決定することを目的とした。

測定された距離は、2m, 1m, 50cm, 33cmと各被験者の平均近点 (約10cm) 上で行われた。実験2と関連付け、フリッカー視標の測定面上の照度を30luxとし

た。

実験2. 視覚作業によるフリッカー値の変動

1) 視覚負荷方法

被験者に与えた視覚負荷は、クレペリン検査法をもとに、この実験用に改良した足し算の数式の正誤判定作業である²⁹⁾。ディスプレイ画面中央に数式が一つ一つ一定時間だけ呈示され(白色表示, 赤:緑:青のエネルギー強度比/1:1:1), 数式が正解ならばキーボード上の1のボタンを、誤っていれば2のボタンを押させた(例: 1+2=3なら1のボタン, 1+2=4から2のボタン)。正誤を判定させる事により、ディスプレイ画面から視線を外す副次的な眼球運動を可能な限りなくした。以上の計算正誤判定作業を1時間の間、5分に1回の約30秒の休止時間を置いて行わせた。この休止の間に5分間になされた問題の正答率をコンピューターにて計算し、被験者の作業能率を測定した。作業面照度は、視覚へ与える影響が大きいと考えられる50luxを設定した³⁰⁾。この室内照度の設定により、フリッカー値測定面の照度は必然的に30luxとなった。

呈示される一つの数式の呈示時間を4秒と2秒に変化させる事によって、1時間になされる問題数を変えた。これによって呈示時間2秒の場合(2秒群)は、4秒の場合(4秒群)に比較して、作業速度が2倍となった。

2) 色フリッカー値の経時的測定

フリッカー値の測定は、作業を開始する前と開始後15分、30分、45分、60分の5時点で行った。

測定は視作業の影響を正確に把握するため、作業終了の合図と同時に被験者の向きを90°転換させ、実験1で得られた結果から測定距離を33cmとして、実験室側面の灰色の壁に取り付けられているフリッカー視標面を固視させた(Fig. 1)。

3) 統計処理

両作業群の比較(Fig. 3からFig. 5)には各測定時点での対応のある差の検定を行い(t検定)、色調別の比較には(Fig. 6)作業前値を基準とし、各測定時点での値を経時的に対応のある差の検定によって有意性を検討した。

III 結果

実験1. 視距離によるフリッカー値の変化

Fig. 2に各視距離による、それぞれの色フリッカー値の平均を示す。3色ともに視距離が延長するに連れて、フリッカー値の低下が認められた。視距離10cmで

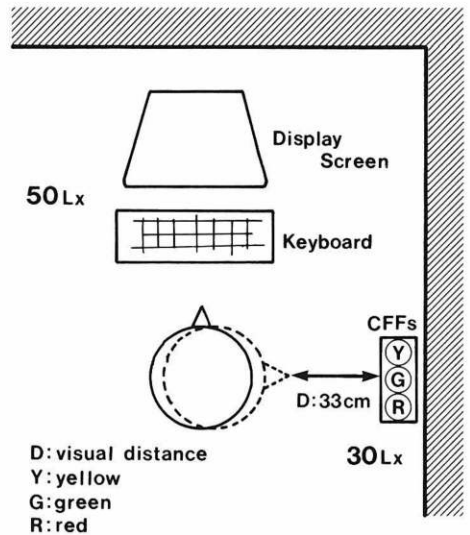


Fig. 1 Condition of CFF measurement.

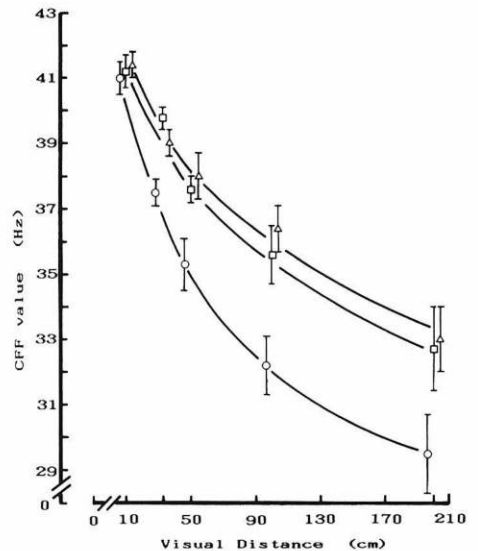


Fig. 2 Changes of colored CFFs in each different visual distance.

Same subjects n=9 respectively, Mean±Standard Error.

○-○: Red CFFs, □-□: Green CFFs, △-△: Yellow CFFs.

は3者とも同様の値を示したが、33cm以上では赤色光のフリッカー値の低下が、緑色光と黄色光にみられる同様のフリッカーの低下パターンに比較して著明であった。また標準誤差は視距離が長くなるに連れて大きくなり、測定値のばらつきが認められた。しかし視

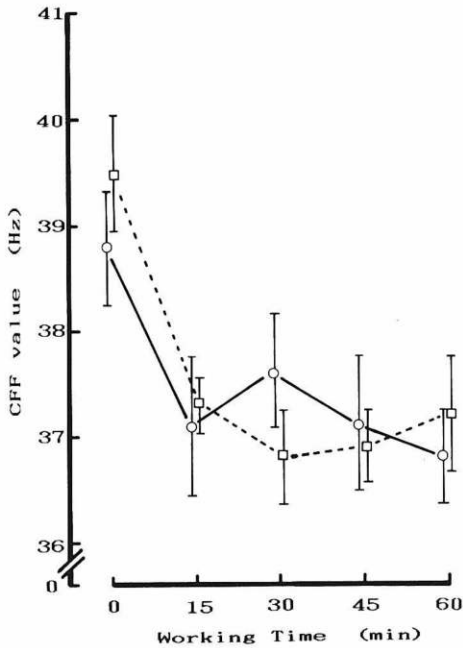


Fig. 3 Time courses of red CFFs in two groups. Same subjects $n=9$ respectively, Mean \pm Standard Error.
 ○—○ : 4sec group, □····□ : 2sec group.
 Not significant between two groups in each measurement point.

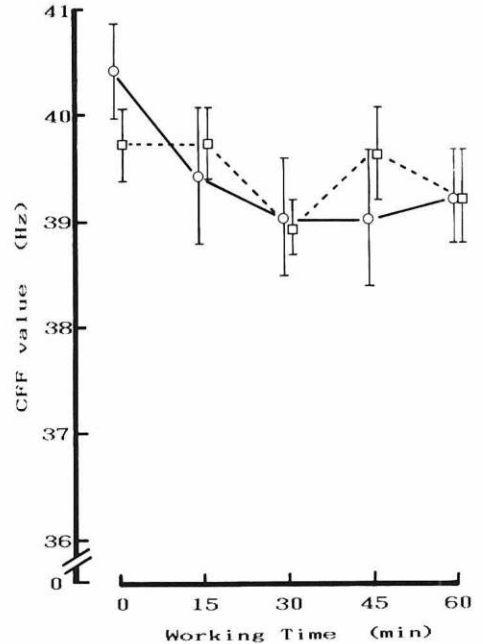


Fig. 4 Time courses of green CFFs in two groups. Same subjects $n=9$ respectively, Mean \pm Standard Error.
 ○—○ : 4sec group, □····□ : 2sec group.
 Not significant between two groups in each measurement point.

距離33cmでは、その誤差が最小となり、この結果を実験2における測定距離の設定の参考とした。

実験2. 視作業によるフリッカー値の変動

1. 作業能率

60分の作業全体での平均作業能率を正答率で表すと、4秒群では $99.4 \pm 0.5\%$ であり、2秒群では $99.0 \pm 1.4\%$ であった。両群の間に有意差を認めず、作業能率に差はなかった。

2. 4秒群と2秒群との比較

フリッカー値の変化を各色調別に、両群について比較した結果がFig. 3からFig. 5である。全ての色調について両群での有意差は、認められなかった。

黄色フリッカーの値では、4秒群に全体として僅かに低い値がみられるが、この値は作業開始前からみられ、それぞれの測定時点での統計的有意性は認められなかった (Fig. 5)。

3. 各色調別にみたフリッカー値の変動

両群の間でフリッカー値の変化を認めなかった事から両群の結果をまとめて、各色調別の経時的なフリッ

カー値の変動として表した (Fig. 6)。

緑色と黄色フリッカー値については同様な経時的変動を示したが、赤色フリッカー値については異なる変動パターンを示した。赤色フリッカー値は、作業開始15分後にすでに有意な低下を認め ($p < 0.01$)、その低下は作業終了まで続いた。ところが、緑色と黄色フリッカー値については、作業開始30分のみ初めて有意な低下を認め (緑色の場合: $p < 0.01$, 黄色の場合: $p < 0.05$)、開始後45分と60分目では平均値で差をみるが有意性が認められなかった。

IV 考 察

同一輝度の場合、色調はフリッカー値に影響を及ぼす因子の一つであり、過去の報告^{25)~27)}と一致した。今回の視作業後に訴えられた眼の疲れは全被験者の75%にみられ、眼精疲労を強く自覚していたが、それにも関わらず、緑色と黄色フリッカーについては、赤色フリッカーと比較して変動パターンが全く異なり、一旦低下したフリッカー値が作業の続行にあっても再び元

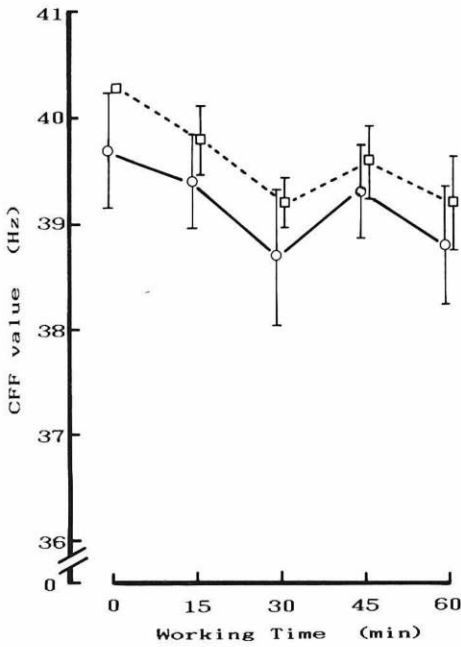


Fig. 5 Time courses of yellow CFFs in two groups.

Same subjects n=9 respectively, Mean±Standard Error.

○—○ : 4sec group, □---□ : 2sec group.

Not significant between two groups in each measurement point.

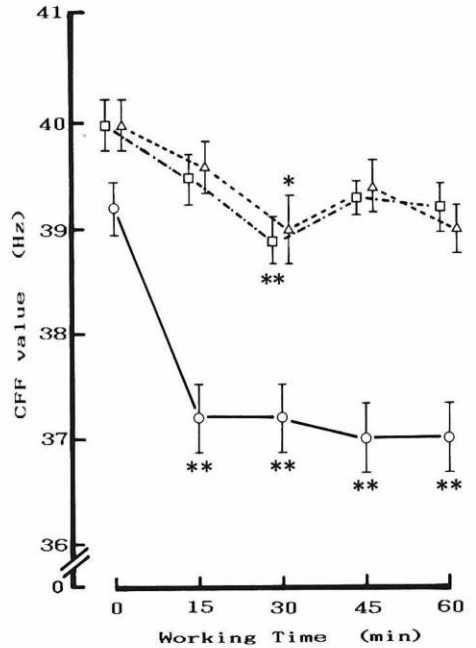


Fig. 6 Time courses of each colored CFFs in all subjects.

Same subjects n=18 respectively, Mean±Standard Error.

○—○ : Red CFFs, □---□ : Green CFFs, △---△ : Yellow CFFs, * : p<0.05, ** : p<0.01

(Indicates of statistical significance compared with the values before the task.)

の状態に回復して行った。色調の別によって変動パターンが異なる事実は、過去に云われるフリッカー値の低下が意味する精神疲労や大脳中枢の覚醒水準の低下または意識水準の低下と云った、より高い次元での機能低下¹⁾⁻⁹⁾をこの実験では反映しなかった事が示唆される。

西村等⁹⁾の報告によるとフリッカー測定光源の色は、いずれの色であっても作業後の変動率には無関係であると云う。しかしこれは非常に高い輝度 (530cd/m²) において測定がなされており、フリッカー光源の輝度の上昇はフリッカー値の波長による差をなくしてしまうと云われる事から³¹⁾³²⁾、結論を出すまでには早計過ぎる。

一方、苧阪³³⁾はクレベリン検査をディスプレイ画面の上で30分間負荷しその前後において種々の色フリッカー値を測定した処、緑色と黄色フリッカー値は赤色や青色のフリッカー値よりもその減少が小さく、眼精疲労の程度が少なかったと述べた。眼精疲労の定量化をフリッカー値の増減をもって直接論じる事には異論

があるが、視作業によって赤色フリッカー値の低下が大であった事については、我々の実験結果と類似していた。また苧阪は緑色と黄色、赤色の違いは、網膜における視感度曲線の感受性ピークと関連すると考察した。各波長別のフリッカー融合値の変化をグラフにすると、色覚を司る網膜の視感度曲線³⁴⁾と非常に似た曲線を示す事は、すでに大島²⁵⁾によって見出されている。作業によって生じる色調別の変動パターンの差異も網膜機能の上から解釈する方がより自然であると考えられる。

フリッカー値の有する生理学的意味付けについては、実験的研究が古くからなされている。Walker等³⁵⁾はサルを使い、繰り返しの光刺激に対する視神経、外側膝状体および大脳皮質からの応答パルスを導出し、視神経は光刺激が62Hzで応答が止まり、外側膝状体では59Hz、大脳皮質では34Hzであった結果を得、この事からフリッカーの融合は大脳皮質で主に行われていると結論した。同様の追試実験は、小木・川村³⁶⁾によつ

てなされ、ネコにおいては視覚受領野での融合は視索や外側膝状体よりも低い事を確認している。これらの実験は人間についてではなく、また疲労による融合値の変化を証明したものではない。しかし、フリッカー値の低下が大腦中枢の機能低下であるとする多くの論文は、疲労発現とフリッカー値の減少との間に何も因果関係のない、これらの実験結果を根拠としている。

ところで、今回の緑色と黄色フリッカーにみられた45分以降の回復現象は、大島³⁷⁾も述べている様に、フリッカー値変動の4型の中の、作業に対する順応の型と解する事が出来る。しかもこの順応は、赤色フリッカー値には認められなかった(Fig. 6)。従って、この順応の問題に関しても、今回のフリッカー値の低下が、高位中枢の疲労を表現している事をより大きく否定的にする。

さらに、全く同様の作業を同様の2種類(4秒群と2秒群)の条件において負荷した場合、中枢を介する調節機能は1時間の作業量(この場合は問題数)が多く、作業速度の速かった2秒群に著明な機能低下を認めた²⁹⁾。しかしフリッカー値においては、両群に差を認めなかった(Fig. 3からFig. 5)。この原因については、ディスプレイ画面上での発光体の光刺激を直接注視する様な作業においては、その光刺激の時間的な長短が機能低下の要因と考えられる。つまり、両群における問題数は変化し作業遂行に当たっての負担は異なっているが、網膜内に照射された光の量はどちらも1時間で等しかった事があげられる。従って、最初に光を受容する網膜の機能低下が最も発生しやすく、その等しい光刺激の量がフリッカー値の相等しい変動と呼び込められたと推測する。

今回の実験結果は、フリッカーの融合値が精神疲労や大腦の活動水準、意識水準そのものだけを表す指標ではなく、場合によってはその他の生理機能低下を表出している事も考慮される必要のある事を意味する。特にディスプレイ画面を使用するVDT作業等の光を直視する作業においては、フリッカー値変動のもつ意味に網膜の機能低下が重要な役割を果たすと考えられる事が示唆された。この結果は従来から云われているフリッカー値の生理学的概念に対する問題提議である。

文 献

- 1) **Simonson E, Enzer N**: Measurement of fusion frequency of flicker as a test for fatigue of the central nervous system. *J Int Hyg Toxi* 23: 83—89, 1941.
- 2) **橋本邦衛**: 炎害と疲労(II). 作業時フリッカー値の低下限界とこれからみた災害発生の可能性. *産業医学* 2: 379—386, 1960.
- 3) **橋本邦衛**: Flicker 値の生理学的意味と測定上の諸問題—Flicker Test の理論と実際—. *産業医学* 5: 563—578, 1963.
- 4) **大島正光**: 疲労の研究. フリッカー値の意味. 東京, 同文書院, 40—43, 1979.
- 5) **Baschera P, Grandjean E**: Effects of repetitive tasks with different degrees of difficulty on critical fusion frequency (CFF) and subjective state. *Ergonomics* 22: 377—385, 1979.
- 6) **Weber A, Fussler C, O'Hanlon JF, et al**: Psychophysiological effects of repetitive tasks. *Ergonomics* 23: 1033—1046, 1980.
- 7) **神代雅晴, 三上行生, 長谷川徹也**: VDT 作業における眼精疲労と中枢性ストレスの検討. *産業医学* 26: 105—111, 1984.
- 8) **川本 俊, 芳原達也, 小林春男他**: 高齢者の疲労自覚症状及びフリッカー値. *山口医学* 33: 167—171, 1984.
- 9) **西村 武, 森本一成**: 精神疲労推定のためのCFFの測定方法と条件の検討—VDT 作業による疲労を対象として—. *人間工学* 22: 203—210, 1986.
- 10) **Fink M, Irwin P**: Effects of some psychoactive drugs on CFF in volunteers. *Pharmacopsychiat* 15: 36—38, 1982.
- 11) **Parrott AC**: Critical flicker fusion thresholds and their relationship to other measures of alertness. *Pharmacopsychiat* 15: 39—43, 1982.
- 12) **Hobi V, Dubach UC, Skreta M, et al**: The subacute effects of bromazepam on psychomotor activity and subjective mood. *J Int Med Res* 10: 140—146, 1982.
- 13) **神谷貞義, 百瀬 皓, 伏見 至他**: 網膜における光感覚の場の解析(第5報). 赤及び青色光の暗調応経過並びにf.f.f.に及ぼす影響. *眼臨* 46: 364—367, 1952.
- 14) **萱沢文男, 山本敏雄, 糸井素一**: 網膜疾患のFoveal Flicker Sensitivity Function. *臨眼* 35: 419—425, 1981.
- 15) **新美勝彦, 平岩紀子**: 糖尿病性網膜症者の中心フリッカー値について. *臨眼* 35: 1705—1710, 1981.
- 16) **新美勝彦, 平岩紀子, 神谷美保子他**: 糖尿病性網膜症の視機能. *眼紀* 34: 606—611, 1983.
- 17) **Titcombe AF, Willson RG**: Flicker fusion in multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 24: 260—265, 1961.
- 18) **Thorner MW, Berk ME**: Flicker fusion test in neuro-ophthalmologic conditions including multiple sclerosis. *Arc Ophthalmol* 71: 807

- 815, 1964.
- 19) **Daley ML, Svank RL, Ellison CM**: Flicker fusion thresholds in multiple sclerosis, a functional measure of neurological damage. *Arch Neurol* 36: 292—295, 1979.
- 20) **Salmi T**: Critical flicker frequencies in MS patients with normal or abnormal pattern VEP. *Acta Neurol Scand* 71: 354—358, 1985.
- 21) **大鳥利文, 中尾雄三, 水川 孝**: 視路疾患と視野—とくに視神経疾患の診断治療におけるフリッカーテストの意義について—, *眼科* 14: 208—225, 1972.
- 22) **大鳥利文, 中尾雄三**: フリッカー視野検査とその意義. *眼科* 24: 1489—1495, 1982.
- 23) **Tyler CW, Ryu S, Stamper R**: The relation between visual sensitivity and intraocular pressure in normal eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 25: 103—105, 1984.
- 24) **問田直幹, 内園耕二**: 新生理学. 医学書院, 東京, 919, 1979.
- 25) **大鳥正光**: 閃光融合値(ちらつき値)測定法についての吟味. *労働科学* 26: 115—120, 1950.
- 26) **外間英男**: 弱視の予後判定に関する研究. *日眼* 72: 2472—2522, 1968.
- 27) **横井俊明**: Bjerrum area に於ける Color Critical Fusion Frequency に関する臨床的研究—測定的基础条件について—. *日眼* 75: 2243—2248, 1971.
- 28) **岩崎常人, 栗本晋二**: 文明病としての眼精疲労. *あたらしい眼科* 3: 1267—1271, 1986.
- 29) **岩崎常人, 栗本晋二**: 視覚負荷に伴う眼疲労と調節, 視覚誘発電位にみられる関係について. *日眼* 90: 1226—1231, 1986.
- 30) **栗本晋二, 岩崎常人**: OA 機器の健康対策, VDT 労働が眼に与える影響. 日本経営出版, 東京, 139—178, 1985.
- 31) **Hecht S, Shlaer S**: Intermittent stimulation by light: V. The relation between intensity and critical frequency for different part of the spectrum. *J Gen Physiol* 19: 965—979, 1936.
- 32) **池田光男**: 視覚の心理物理学. 森北出版, 東京, 190—193, 1975.
- 33) **宇阪直行**: VDT の表示色, 視野, および明暗順応と眼精疲労の関係について. *人間工学* 21: 89—95, 1985.
- 34) **Davson H**: *Physiology of the eye*. Churchill Livingstone, London, 327—359, 1980.
- 35) **Walker AE, Woolf JI, Halstead WC, et al**: Mechanism of temporal fusion effect of photic stimulation on electrical activity of visual structures. *J Neurophysiol* 6: 213—219, 1943.
- 36) **小木和孝, 川村 浩**: 視覚系各部のちらつき融合頻度の変動と脳賦活系との関連. *労働科学* 36: 459—473, 1960.
- 37) **大鳥正光**: Flicker test 結果の判定の仕方(I). *労働科学* 35: 423—426, 1959.
-