

眼疾患における視覚の時間加重効果

(1) 視力測定の見標提示時間について

黄野 桃世*, 山出 新一*, 深見嘉一郎**

*滋賀医科大学眼科学講座, **福井医科大学眼科学講座

要 約

眼疾患が視覚の時間加重効果におよぼす影響を調べるため、今回は、視力測定における臨界（提示）時間について検討した。対象は、正常群、中心性漿液性網脈絡膜症群、黄斑浮腫群であり、方法として、視標（ランドルト環）の大きさ、方向、および提示時間をコントロールできる装置を用いて上下法で視力を測定し、臨界時間を求めた。その結果、中心性漿液性網脈絡膜症群と黄斑浮腫群の平均臨界時間は、正常群のそれに比べて有意に($p < 0.01$)延長していた。臨界時間が延長するメカニズムについては、網膜内神経機構の障害に加えて、判断のための中枢の神経系の関与などが考えられるが、現時点では推察の域を出ない。しかし、1.0や1.2といった比較的良い視力でも、著明な臨界時間の延長がみられる例があり、時間的な要素をみるこのような視力測定が、病態を理解するアプローチの一方法となり得ることが示唆された。(日眼会誌 95: 184—189, 1991)

キーワード：視力、時間加重効果、臨界時間、黄斑浮腫、中心性漿液性網脈絡膜症

Temporal Integration in Diseased Eyes

I. Exposure Duration in Visual Acuity Testing

Momoyo Kono*, Shinichi Yamade* and Kaitiro Hukami**

*Department of Ophthalmology, Shiga University of Medical Science

**Department of Ophthalmology, Fukui Medical School

Abstract

Critical duration in visual acuity testing can be viewed as an expression of temporal integration in the human visual system. We examined this phenomenon in 13 eyes with central serous retinopathy (CSR) and 6 eyes with macular edema, by measuring visual acuity at several limited exposure times. The results were then compared with those for 17 normal eyes. The acuity target was a single Landolt ring projected upon a small square screen. The size, direction, and exposure time of the target were computer controlled. The mean critical durations of the CSR and macular edema groups were 1.78sec. and 2.69sec. respectively. These values were significantly ($p < 0.01$) longer than the mean critical duration of the normal control group (0.62sec.). Although the mechanism behind the longer critical duration in diseased eyes remains poorly understood, we believe this method provides a possible approach to the study of diseased visual conditions. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 95: 184—189, 1991)

別刷請求先：520-21 大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学眼科学教室 黄野 桃世
(平成2年6月29日受付, 平成2年7月27日改訂受理)

Reprint requests to: Momoyo Kono, M.D. Department of Ophthalmology, Shiga University of Medical Science.

Tsukinowa-cho, Seta, Ohtsu 520-21, Japan

(Received June 29, 1990 and accepted in revised form July 27, 1990)

Key words : Visual acuity, Temporal integration, Critical duration, Macular edema, Central serous retinopathy

I 緒 言

眼科臨床において視力測定を行なう場合、視力は比較的良く、また理解力や注意力も特に悪くないにもかかわらず、視標を読み取るのに時間がかかる症例があり、黄斑部に浮腫を有する者などでよくみられる現象である。閾値測定においては、刺激光の提示時間が短いと閾値は時間に依存し、一定の時間(臨界持続時間)より長くなるとこの時間依存性がなくなるという現象(時間加重効果)が知られているが、視力を測定するときも視標を提示する時間が短いと小さい視標は読み取れず、またある程度以上長く提示しても、視力は一定の値以上になりえないことを考えると、視力測定においても何らかの臨界(提示)時間が存在すると思われる、視力測定に時間がかかるような患者では、この臨界時間がどのようになっているのか大変興味があるところである。われわれは、すでに視力測定 of 臨界時間の求め方と正常群および網膜疾患での測定例について報告した¹⁾。今回は、もう少し測定例数を増やして、中心性漿液性網脈絡膜症群、黄斑浮腫群の臨界時間を正常者群の結果と比較し、統計学的な検討を行なったので報告する。

II 実験方法および対象

測定装置は、図1に示すように、視標を投影するプロジェクターとそれをコントロールするパーソナルコンピュータより成り、視標のON、OFFはプロジェクター内のチョッパーを用いて行ない、そのONからOFFまでの持続時間つまり視標の提示時間およびランドルト環の方向を、コンピュータを用いてコントロールしている。被験者は自然瞳孔、単眼視で、屈折矯正をした状態で測定する。測定は天井の白熱灯をつけて行ない、その時の室内の明るさは、被験者の位置で30lux、視標の位置で19luxである。被験者から視標までの観測距離は5mで、視標は図1のように中央が20cm×20cmの白色、その周囲を黒くぬった40cm×40cmのスクリーンの中央に黒ランドルト環を投影して用いた。その輝度は背景が72.3cd/m²、視標の部分が4.7cd/m²で、コントラストは87.8%になる。視標の大きさは、臨床で行なっている視力測定と同様に

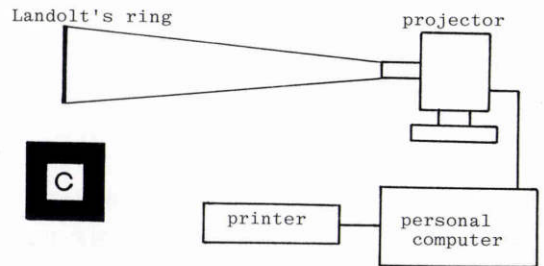


図1 測定装置の概観図、20cm四方の白色スクリーンの上にプロジェクターで視標を投影する。

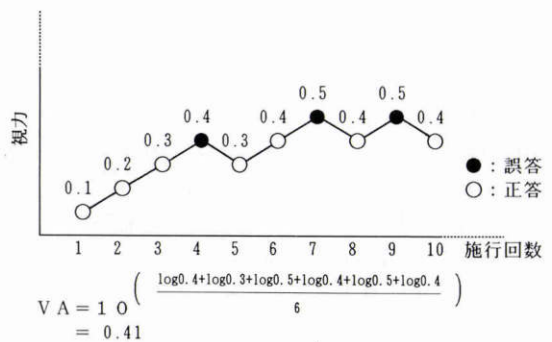


図2 極限法(上下法)の測定例、0.1の視標から順に提示される。答えが正解ならば一段階小さい視標となり、間違ると大きくなる。折り返し数を6回として各点での値を幾何平均し、視力とした。図のような場合、視力は0.41となる。

0.1~1.0まで0.1ごとに、および1.2、1.5の全部で12種類である。

視力の測定は上下法を用いて行なった。その具体例を図2に示す。臨床で実際に視力を測定する場合は、厳密な意味での上下法ではないが、ほぼそれに近い方法で行なっているので、この実験でも上下法を用いた。視標の提示時間を設定し、その提示時間での視力を求めるわけであるが、まず0.1の視標を出し、「上」、「下」、「右」、「左」、および「わからない」の5つの答えのうちのどれかで答えるよう指示する。この時の視標の方向は、コンピュータの乱数表に基づきランダムに決められ提示される。正解の場合は視標を一段階小さいものに変えて同様に答えてもらう。答えが間違った場合には、一段階前に戻った大きさを提示する。このよう

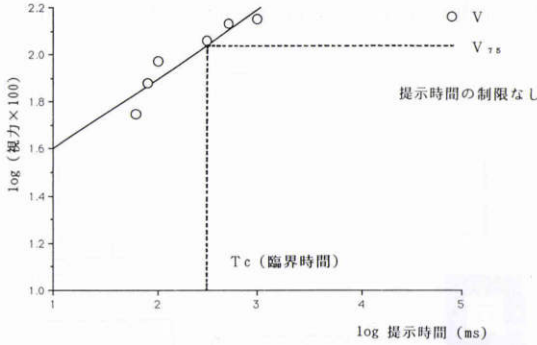


図3 臨界時間の求め方。横軸に提示時間の対数(log ms)をとり、縦軸を視力に100を乗じた値の対数とし、60~1000msの提示時間で測定した視力の値をプロットし、これより最小二乗法で求めた直線と、提示時間制限なし視力Vの75%の値V₇₅より臨界時間を求めた。

な操作をくりかえしていくわけであるが、今回は折り返し回数を6回として、それぞれの折り返し点での視力の幾何平均をとって、その提示時間での視力とした。また、同じ上下法を用いて、提示時間を制限しない視力も測定した。提示時間は60msより始め、制限なしの視力と同程度の視力が得られるまで延長して行なった。

臨界時間の求め方についてはすでに報告¹⁾したが、もう一度簡単に説明する。図3のように60~1000msの提示時間で測定した視力の値を両対数でプロットし、これより最小二乗法で求めた直線と、提示時間制限なしの視力Vの75%の値V₇₅との交点より、それに相当する視標の提示時間を求め、臨界時間(Tc)と設定した。装置の性能上、60msが最短の提示時間であり、60msより短い提示時間で測定を行うことはできなかった。そして、1000msまでの値を取ったのは、正常群における測定結果を見ると、1000msくらいまでは提示時間の増加と共に視力がよくなるが、それ以降は視力は飽和する傾向にあるからである。決してこの区間で視力-時間関係が直線になると考えている訳ではなく、60ms~1000msでの測定値から求めた回帰直線が、一定のレベルに達する時間をパラメータとして使おうということである。そして、制限なしの視力、およびその80%、75%、70%の値となる時間を求め、その分布を調べたところ、75%で求めた時間が一番ばらつき(変動係数)が小さかったため、ここではこれを臨界時間とした。

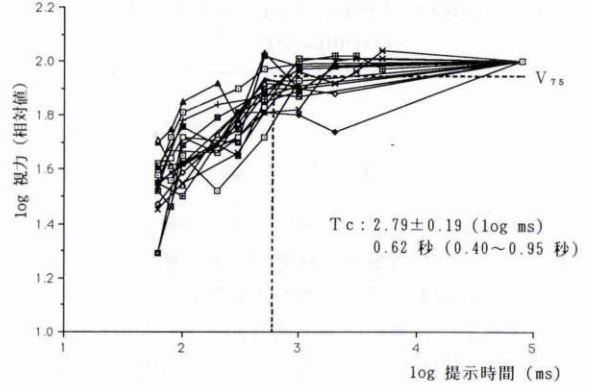


図4 正常群17眼の測定結果(視力をそろえて表示)。視力測定の結果を重ねてプロットした。平均の臨界時間を破線で示している。

対象は、屈折異常以外に特に眼疾患のない22歳~60歳までの正常者群14例17眼、37歳~60歳までの中心性漿液性網脈絡膜症13例13眼、そして黄斑浮腫群として、これは網膜静脈の閉塞症や糖尿病性網膜症によるものであるが、23歳~66歳までの5例6眼とした。患者群については、検眼鏡および蛍光眼底造影所見で典型的な病像を認める者のみを測定した。

III 結 果

まず正常者群での測定結果を示す。図4は正常者群17眼の視力測定の結果を全て重ねてプロットしたものである。時間の要素をわかりやすくするため、提示時間を制限しない視力が重なるように各グラフを平行移動して表示した。ばらつきはあるが、大体似たような時間経過をたどって最良視力に達している。視力測定の結果より求めた平均臨界時間Tcは、対数表示では、 $2.79 \pm 0.19 \log ms$ となり、それは換算すると0.40秒から0.95秒であり、その平均値は0.62秒となった。

次に、中心性漿液性網脈絡膜症13眼について測定した結果を示す。図5はその1例の蛍光眼底造影所見で、中心窩の近傍より蛍光色素の噴水拡散型の漏出が認められる。この症例の臨界時間は、特に眼疾患のない左眼が0.62秒であるのに対し、右眼は10.0秒となった。図6にこの症例の右眼と左眼の視力測定の結果をプロットしたものを示す。測定方法の違いによるのか、視力は両眼とも通常の方法で測定した値よりも悪くなったが、グラフからわかるように、臨界時間には視力の違い以上に著明な左右差が認められるようである。このようにして測定した中心性漿液性網脈絡膜症

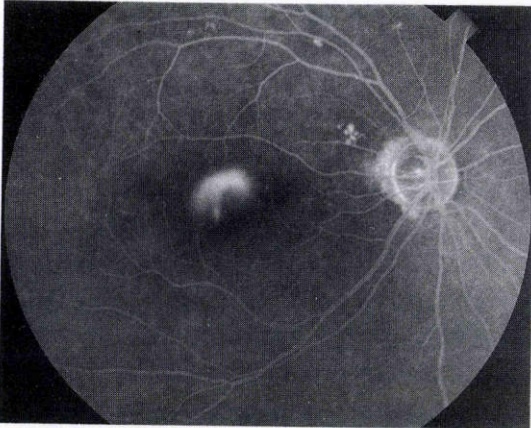


図 5 測定例 1 (中心性漿液性網脈絡膜症) の蛍光眼底造影所見. 中心窩近傍より噴水拡散型の漏出を認める.

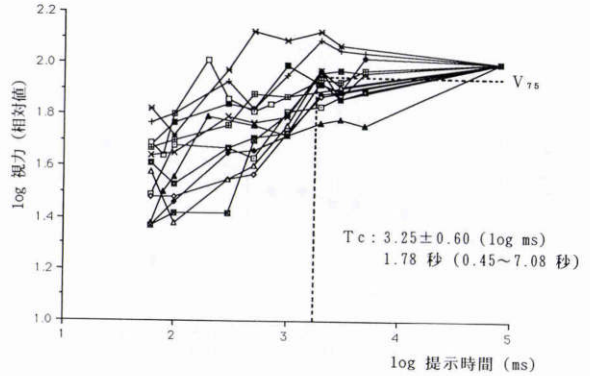


図 7 中心性漿液性網脈絡膜症13眼の測定結果 (視力をそろえて表示). 平均臨界時間は1.78秒であり, ばらつきは大きいが正常者群に比べて有意に延長していた. ($p < 0.01$)

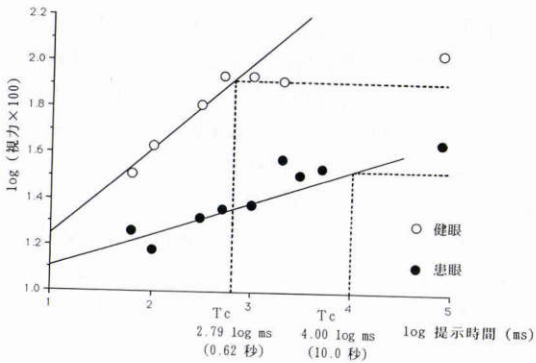


図 6 測定例 1 (中心性漿液性網脈絡膜症) の結果. 臨界時間は, 特に眼疾患のない健眼が2.79log ms (0.62秒)であるのに対し, 患眼は4.00log ms(10.0秒)であった.

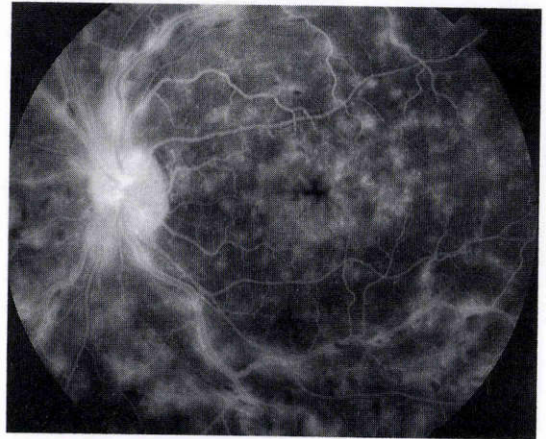


図 8 測定例 2 (黄斑浮腫) の蛍光眼底造影所見. この症例は網膜中心静脈閉塞症である. 汎網膜光凝固術の施行後であるが, 黄斑部に著明な漏出を認め, なお黄斑浮腫が残存している.

13眼の結果を重ねてプロットしたものを図7に示す. 平均臨界時間は $3.25 \pm 0.60 \text{ log ms}$ で, 換算すると0.45秒から7.08秒であり, その平均値は1.78秒となった. この値は正常者群に比べて危険率1%で統計学的に有意に延長しているといえる結果であった (t検定).

もうひとつの測定対象としたのは黄斑浮腫群である. この中には網膜静脈閉塞症による黄斑浮腫と糖尿病性黄斑症が含まれているが, いずれも主として網膜内層の障害であり, 網膜外層に主な障害を持つ中心性漿液性網脈絡膜症と対比させる意味で同じ群として扱った. 図8にその1例の蛍光眼底造影所見を示す. これは網膜中心静脈閉塞症の患者で, 汎網膜光凝固術

の施行後であるが, 黄斑部に蛍光色素の著明な漏出を認め, なお黄斑浮腫が残存していることがわかる. この症例の臨界時間は, 図9に示すように, 健常な右眼が0.45秒であるのに対し, 左眼は3.16秒であった. 患眼については, 制限なしで測った視力も悪くなっているが, 臨界時間も明らかに延長している. このようにして測定した黄斑浮腫群5例6眼の結果を重ねてプロットしたものを図10に示す. 平均臨界時間は $3.43 \pm 0.22 \text{ log ms}$ で, 換算すると1.62秒から4.47秒であり, その平均値は2.69秒であった. この結果も正常群に比べ危険率1%で統計学的に有意な延長であった (t検

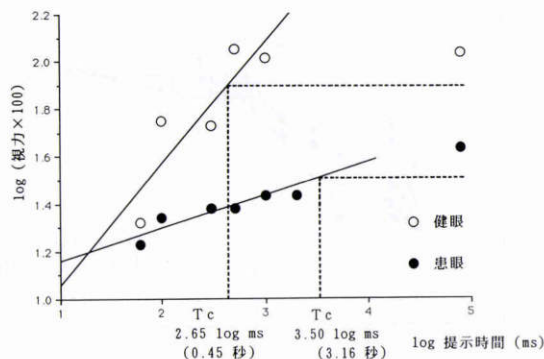


図9 測定例2(黄斑浮腫)の結果。臨界時間は、健眼が2.65log ms(0.45秒)であるのに対し、患眼は3.50log ms(3.16秒)であった。

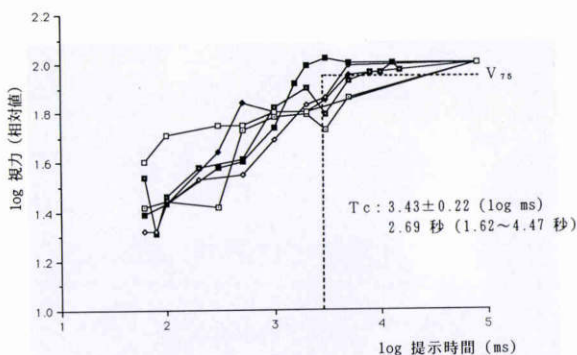


図10 黄斑浮腫6眼の測定結果(視力をそろえて表示)。平均臨界時間は2.69秒であり、正常者群に比べて有意に延長していた($p < 0.01$)。

定)。

IV 考 按

閾値測定における時間加重効果は古くから知られた現象であるが、視力測定においても臨界時間が存在すると考えられる。視標の提示時間を変化させた視力測定については、今までにも諸家により報告されており^{2)~5)}、これらによると、種々の条件により差はあるが、大体、提示時間100~400msまでは視力は提示時間に依存し、このあたりに視力測定における臨界時間があると考えられる。われわれは、臨床に即した方法を用いての臨界時間の求め方について報告し¹⁾、その中で、正常眼についての測定結果と眼疾患を持つ症例での測定例を示した。今回は、同じ方法を用いて、中心性漿液性網脈絡膜症群13眼、黄斑浮腫群6眼について

臨界時間を求め比較検討した。この二つの疾患を選んだのは、黄斑浮腫群については、临床上、視力測定に時間がかかり、今回の研究の動機となった症例が黄斑浮腫を伴う網膜中心静脈閉塞症であったからであるが、病態は異なるが同じ黄斑部の疾患ということで、中心性漿液性網脈絡膜症群について測定し、あわせて検討することとした。その結果、中心性漿液性網脈絡膜症群と黄斑浮腫群で、共に平均臨界時間は正常群のそれに比べて有意に延長しており($p < 0.01$)、この二つの患者群を比べると、黄斑浮腫群の臨界時間の延長がより著しく、確からしいと思われた。

このような臨界時間の延長の機序について推定すると、今回対象とした疾患はいずれも網膜レベルに障害を有するものであり、中心性漿液性網脈絡膜症においては、漿液性網膜剥離であるから視細胞層が障害され、黄斑浮腫については、網膜内層に障害があることは明らかである。したがって、このレベルでの神経細胞の機能低下や神経網の伝達障害があり、この事がなんらかの形で臨界時間の延長に参与していることは確かである。しかし、正常者群と比べ2秒、3秒という臨界時間の延長を網膜レベルでの機能低下のみで説明することは難しい。さらに、閾値測定における時間的寄せ集め機能を種々の眼疾患で調べた小川らの報告⁶⁾、あるいは老人性黄斑変性で調べたBrownらの報告⁷⁾によると、眼疾患において閾値は上昇するが、時間的寄せ集め機能は障害されておらず、この事も考慮すると視力測定の臨界時間の延長の機序としては、統合的な判断を行うより中枢の神経系の関与も考えなければならない。この、末梢の障害と中枢の判断の関わりについて、全くの仮説であるが、網膜感度の不均一な低下により、短時間では中枢での判断に十分な情報が得られないと考えては如何であろうか。すなわち、網膜の各部位での感度低下が一樣でなくムラがあるとすれば、ランドルト環という形態を知覚するにあたり、非常に短い提示時間では、比較的良好に見える部分からほとんど見えない部分までがモザイク状に分布して知覚されると考えられる。このモザイク状のイメージ1つだけではランドルト環の方向を判断することは出来ないが、提示時間が長くなると、固視微動やあるいは随意的な眼球運動を駆使するなどして得られる一連のモザイク状の情報を統合することにより、ランドルト環の方向を判断することが出来るようになると思われるわけである。網膜感度の不均一性が強ければ、臨界時間はより延長し、比較的一様な感度低下の場合は、視力

が低下しても、臨界時間の延長は軽度となるであろう。閾値測定における「見えた」、「見えない」の判断は、視標のイメージがモザイク状であってもあまり影響されるとは考えにくく、この場合は網膜感度の不均一性が臨界時間の延長にはつながらないと思われる。このような考え方を検定するためには、視力測定時の眼球運動をモニターする必要があると思われる。

今回の結果で、黄斑浮腫群の方が中心性漿液性網脈絡膜症群に比べてより確かに臨界時間の延長が認められたことについては、上記の仮説に基づけば、中心性漿液性網脈絡膜症における網膜の障害は比較的一様なものに対して、黄斑浮腫における網膜の機能低下がより不均一であるという事を示唆しているのであろう。また、視力を含む形態の知覚は持続的に応答するチャンネルによって生じ、これは生理学で知られるX型ニューロンと対応し、一方、フリッカーなどの時間変化の知覚は過渡的に応答するチャンネルによって生じ、これはY型ニューロンに対応すると考えられている⁸⁾。とすれば視力測定の臨界提示時間は主としてXニューロンの時間特性によって決定されると考えたら良いのか、それともYニューロンの関与も考慮しなければならないのか、今回の実験結果だけで推定することは難しい。さらに基礎的な心理物理実験を行ない、

臨界時間の延長のメカニズムについて検討していくことが今後の課題である。

本論文の要旨は、第94回日本眼科学会総会（1990年5月24～26日、岡山市）にて発表した。

文 献

- 1) 黄野桃世, 山出新一, 深見嘉一郎: 視力測定の提示時間について. 眼紀 41, 1990 印刷中.
- 2) Graham CH, Cook C: Visual acuity as a function of intensity and exposure time. Am J Psychol 49: 654-661, 1937.
- 3) 本田 博: 瞬間中心視力. 日眼会誌 59: 489-495, 1955.
- 4) Baron WS, Westheimer G: Visual acuity as a function of exposure duration. J Opt Soc Am 63: 212-219, 1973.
- 5) 山出新一, 深見嘉一郎: 短時間提示による視力測定. 眼紀 31: 890-893, 1980.
- 6) 小川徹郎, 古野史郎, 関 明, 他: 正常部および視野障害部の時間的寄せ集め機能について. 日眼会誌 88: 1216-1223, 1984.
- 7) Brown B, Lovie-Kitchin JE: Temporal summation in age-related maculopathy. Optom Vis Sci 66: 426-429, 1989.
- 8) 乾 敏郎, 三村 治, 宮本健作: 視力に関する神経機構について. 神経進歩 25: 194-213, 1981.