

動体視力と短時間提示視力の関係

丹羽 一司, 奥山 文雄, 所 敬

東京医科歯科大学医学部眼科学教室

要 約

試作した動体視力測定装置を用いて20~31歳の健常眼10名19眼について視標速度0~100 km/時のkinetic visual acuity (KVA)を背景輝度0.1~200 cd/m²の範囲で測定した。その結果、視標速度の上昇とともにKVAは低下するが、30 km/時以上ではKVAの低下は比較的緩慢であった。また、100 cd/m²までは背景輝度の上昇とともにKVAは上昇するが、200 cd/m²ではむしろ低下した。健常眼2名3眼、調節緊張2名3眼および中心性漿液性網脈絡膜症1眼についてKVAと短時間提示視力を測定した。その結果、調節緊張では短時間提示視力は良好であるが、KVAは健常眼に比し不良であっ

た。中心性漿液性網脈絡膜症ではいずれも不良であった。また、健常眼と中心性漿液性網脈絡膜症では同一視力を得るために要するランドル環の切れ目の光量はKVAと短時間提示視力ではほぼ同一であった。調節緊張では両者間の光量に差があった。したがって、動体視力には調節機能が関係し、短時間提示視力よりも高度な視機能を要するものと考えられる。(日眼会誌 99:1045-1051, 1995)

キーワード：動体視力, 短時間提示視力, 光量

Relationship between Kinetic Visual Acuity and Visual Acuity with Limited Exposure

Kazushi Niwa, Fumio Okuyama and Takashi Tokoro

Department of Ophthalmology, Tokyo Medical and Dental University School of Medicine

Abstract

Using a kinetic vision tester which we developed, kinetic visual acuity (KVA) at target velocity of 0~100 km/h was measured at background luminance of 0.1~200 cd/m² in 19 eyes of 10 normal volunteers ranging in age from 20 to 31 years. The decrease in KVA was slow at a target velocity of 30 km/h or more as reported before. KVA was best at background luminance of 100 cd/m². In 3 eyes of 2 normal subjects, 3 eyes of 2 patients with tonic accommodation and 1 eye of 1 patient with central serous chorioretinopathy, visual acuity at limited exposure times was also measured. In patients with tonic accommodation, visual acuity at limited exposure times was good, but KVA was poor as compared to normal eyes. In the eyes of patients with central serous chorioretinopathy, results were poor for

both. The quantity of light required to obtain the same visual acuity was similar for both normal eyes and eyes with central serous chorioretinopathy in terms of both KVA and visual acuity at limited exposure times. In eyes with tonic accommodation, difference was seen in the required quantity of light. We conclude that functions of accommodation are involved in kinetic vision and that higher visual functions are required than those for visual acuity at limited exposure times. (J Jpn Ophthalmol Soc 99: 1045-1051, 1995)

Key words: Kinetic visual acuity, Visual acuity of limited exposure times, Quantity of light

I 緒 言

視力の定義は2点を識別する眼の能力とされ、通常の視力測定には高コントラストの静止視標を用いている。

しかし、例えば動く目標物を認知する能力(動体視力)や周囲に対し暗い対象物を見分ける能力(対比視力)なども視機能として重要である。動体視力の測定は古くから行われており、1940年 Luckiesh¹⁾は動く物体の見え

別刷請求先：〒113 東京都文京区湯島1-5-45 東京医科歯科大学医学部眼科学教室 丹羽 一司

(平成7年3月16日受付, 平成7年5月15日改訂受理)

Reprint requests to: Kazushi Niwa, M.D. Department of Ophthalmology, Tokyo Medical and Dental University School of Medicine, 1-5-45 Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

(Received March 16, 1995 and accepted in revised form May 15, 1995)

方が止まっている物の見え方と異なることを報告している。1948年 Ludovick²⁾は左右に動く物体の見え方に対して dynamic visual acuity (DVA) という概念を発表し、Brown³⁾が発展させた。Burg⁵⁾は DVA と静止視力 static visual acuity (SVA) の比較について報告している。本邦では荻野⁶⁾が直線的に前方から近接する物体を明視できる能力を kinetic visual acuity (KVA) と命名した。鈴木⁷⁾は動体視力計 (AS-4 A 型) を試作し、1960年代に「交通戦争」と呼ばれ⁸⁾、大きな社会問題であった交通災害の発生を防止する目的で、KVA について一連の研究として発展させた。このため、本邦では一般に動体視力とは KVA のことを指すことが多いようである。一方、瞬間的に出現する目標物を認知する能力 (短時間提示における視力) も目の良し悪しを評価する上で、動体視力とともに交通医学・スポーツ科学などの分野において注目されてきた。これら短時間提示における視力と動体視力との間には、どのような関係があるのが興味深い。今回著者らは、背景輝度を 0.1~200 cd/m² の範囲で変化させ、試作した動体視力計を用いて視標速度 0~100 km/時での健常眼の KVA について検討するとともに、黄斑病変および調節緊張眼については KVA と短時間提示における視力値とを測定し、両者を比較して若干の知見が得られたのでここに報告する。

II 実験方法

対象は、軽度の屈折異常 (等値球面屈折度 -0.5 D 以内) 以外に特に眼疾患のない 20~31 歳の 10 名 19 眼、および東京医科歯科大学眼科眼精疲労外来に通院中の 35 歳の左眼中心性漿液性網脈絡膜症、および 25 歳と 28 歳

の調節緊張 2 名 3 眼である。鈴木⁷⁾によると、KVA は 45 歳以下では年齢差はみられず、本実験の被験者の年齢範囲内では KVA に対する年齢による影響は無視できるものと考えられる。KVA の測定には、試作した動体視力測定装置 DA-2 (図 1) により動体視力測定を行った。動体視力測定装置の光学系を図 2 に示す。本機は光学系のプリズム移動により前後方向の 4.4~70 m の範囲で視標をみかけ上移動させる。パーソナルコンピュータ (PC 9801 FA, 日本電気製) でこの視標は制御される。固視目標はなく、約 0.01 cd/m² の測定機内部に視標が提示される。一般に眼球運動は、予期できない刺激に対して 200 msec 程度の遅れ時間の後に応答を開始するが、今回の実験のように視標が提示される場所が予測できる場合

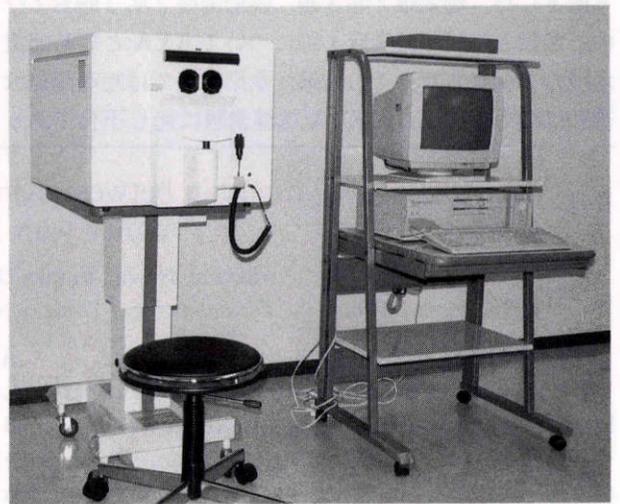


図 1 動体視力測定装置 DA-2.

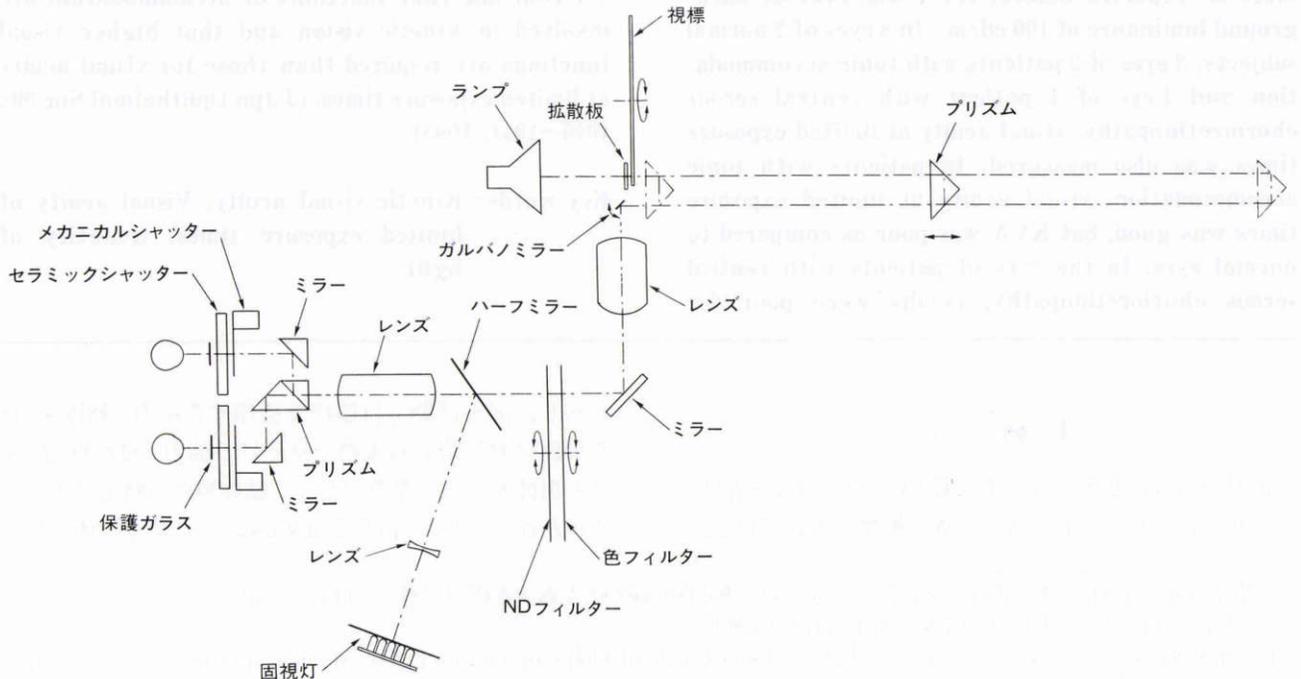


図 2 動体視力測定装置 DA-2 の光学系.

には注視位置が視標提示部位に先行している⁹⁾と考えられるため、今回は固視灯を用いなかった。視標には白色背景に黒ランドルト環を印字したものを使用した。視標速度は0, 5, 10, 30, 50, 70, 100 km/時 (0, 1.4, 2.8, 8.3, 14, 19, 28 m/秒) に設定できる。視標の背景輝度は0.1, 0.3, 1.3, 10, 30, 100, 200 cd/m²の8段階に変えられる。測定は、完全屈折矯正眼鏡装用下で自然瞳孔の単眼視状態で行った。本実験では夜間の道路照明のことを考慮して、道路照明の基準 JISZ 9111 (1988年) が交通量の多い商業地における歩行者に対する道路照明を20ルクス以上と規定していることを参考に、室内照度は被験者の目の位置で約30ルクスとした。この時の被験者の瞳孔径は5.0~6.5 mmの範囲内であった。しかし、今回のKVA測定中の瞳孔径はモニターしなかった。各試行ごとに少なくとも1分間は室内照度に順応させ、測定は迅速に行った。測定装置本体のセラミック電子シャッター(シモン(株))が開放し、視標が提示される。セラミック電子シャッターのオン・オフ時間は0.1 msec以内である。視標の方向は左右二方向のみを用いるものとした。これはランドルト環の切れ目の方向が水平方向や斜め方向よりも垂直方向の場合で最も視力が高くなり、切れ目の長さが同一でも方向により視力が異なる¹⁰⁾ためである。動体視力の測定は少なくとも5回行い、恒常法に準じて正答率が最も早く60%に達した時の視力値を採用した。測定には長時間要することがあるため、被験者には途中で十分に休息をとってもらった。

健常者のうち2名3眼、中心性漿液性網脈絡膜症、および調節緊張についてはKVA測定とともに短時間の視標提示における視力を測定した。短時間提示における視力の測定方法は前報¹¹⁾に譲る。

III 結 果

図3には、健常眼10名19眼について横軸に視標速度(km/時)をとり、縦軸に各背景輝度(cd/m²)におけるKVAの幾何平均をプロットした。視標速度の上昇に伴うKVAの低下は比較的少なく、30ないし50 km/時より高速にしても視力の低下は緩慢であった。また、輝度の低下に伴い各視標速度ともKVAは低下した。しかし、200 cd/m²よりも100 cd/m²の方がKVAは良好であった(p<0.05)。図4には、図3と同データを横軸に背景輝度(cd/m²)をとり、縦軸に各視標速度(kg/時)におけるKVAの幾何平均をプロットした。図3と比較すると、KVAが視標速度よりも背景輝度に強く依存することがわかる。ところで、視標速度の変化に伴う目標物の弁別能の変化のみならず、その目標物を弁別し得るまでの時間が問題となる。図5には、横軸に視標速度(km/時)をとり、縦軸に視標を提示してからランドルト環の切れ目を判別できるまでの時間をプロットした。結果は、視標速度が速くなるとともに時間は短縮した。また、視標が

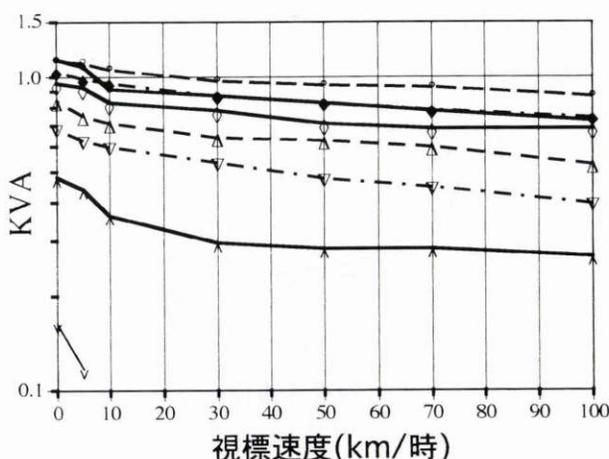


図3 各背景輝度における視標速度と kinetic visual acuity (KVA) の関係(全健常眼の平均)。
背景輝度(cd/m²) 黒丸:200, 白丸:100, 黒菱形:30, 白菱形:10, 白三角:3, 白逆三角:1, Δ:0.3, V:0.1

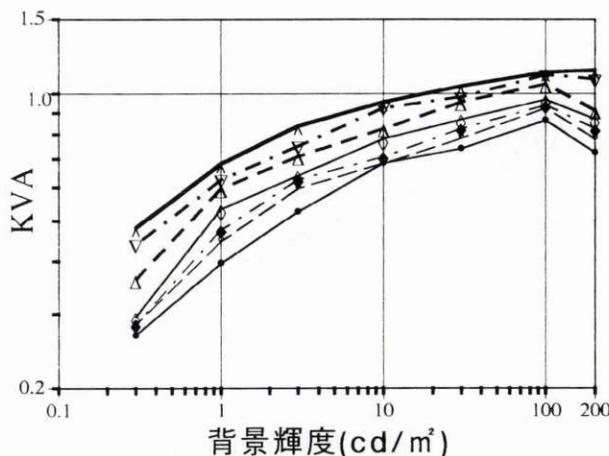


図4 各視標速度における背景輝度とKVAの関係(全健常眼の平均)。
視標速度(km/時) 黒丸:100, 白丸:70, 黒菱形:50, 白菱形:30, 白三角:10, 白逆三角:5, Δ:SVA

暗くなるとともに弁別に要する時間は延長したが、200 cd/m²よりも100 cd/m²の方が良好であった。

中心性漿液性網脈絡膜症患者IT(35歳、男性)について、横軸に視標速度(km/時)をとり、縦軸に各背景輝度(cd/m²)におけるKVAをプロットし図6に示した。同様に約1.5ジオプトリー(D)の調節緊張、約5Dの調節力を有する調節緊張患者TT(28歳、女性、NIDEK AR3-SV6[®]で測定した調節の準静的特性を図7に示す)の結果を図8に示す。中心性漿液性網脈絡膜症では、視標速度の増加および背景輝度の低下に伴い著しくKVAが低下した。調節緊張では、健常者よりもわずかにKVAが不良であった。残る2眼の調節緊張もわずかにKVAが不良であった。黄斑症を主とする網膜疾患、調節緊張を含む調節異常眼で動体視力が不良であることは

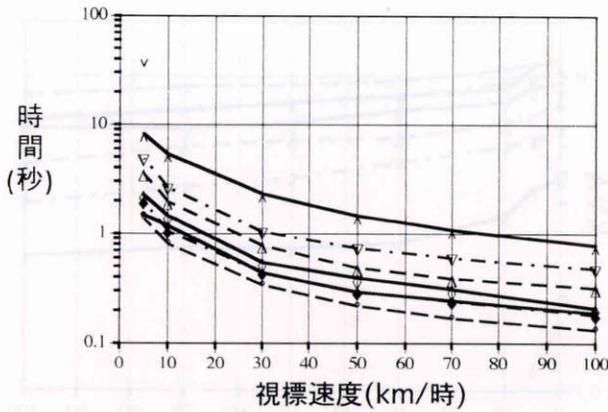


図5 各背景輝度における視標速度とランドルト環の切れ目を弁別するのに要する時間の関係 (全健常眼の平均).
 背景輝度 (cd/m²) 黒丸: 200, 白丸 100, 黒菱形: 30, 白菱形: 10, 白三角: 3, 白逆三角: 1, Δ: 0.3, V: 0.1

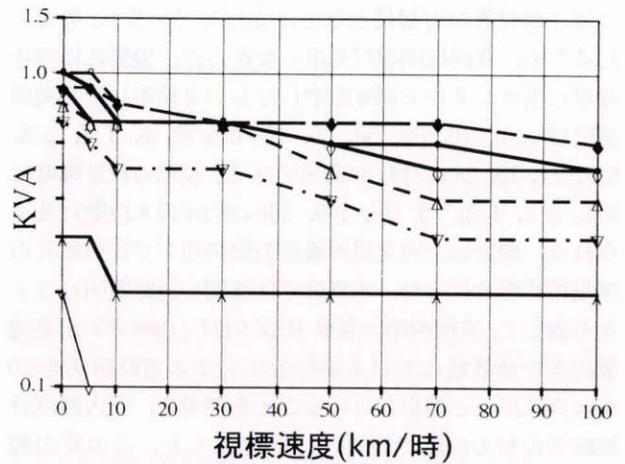


図8 調節緊張患者 TT (28歳, 女性, 右眼) の視標速度と KVA の関係.
 背景輝度 (cd/m²) 黒丸: 200, 白丸: 100, 黒菱形: 30, 白菱形: 10, 白三角: 3, 白逆三角: 1, Δ: 0.3, V: 0.1

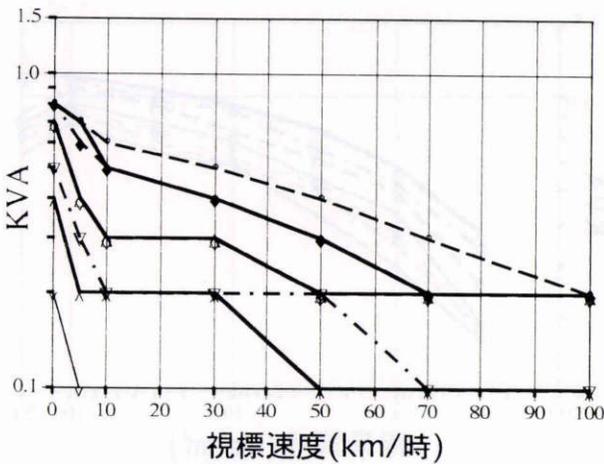


図6 中心性漿液性網脈絡膜症患者 IT (35歳, 男性, 左眼) の視標速度と KVA の関係.
 背景輝度 (cd/m²) 黒丸: 200, 白丸 100, 黒菱形: 30, 白菱形: 10, 白三角: 3, 白逆三角: 1, Δ: 0.3, V: 0.1

既に鈴村⁷⁾が指摘している。

IV 考 按

視標速度の上昇に伴う KVA の低下は比較的少なく、30~50 km/時より高速にしても視力の低下が緩慢であった。この結果は、KVA 値は約 25 km/時以上ではあまり低下しなくなるとする鈴村⁷⁾の結果を支持するものであった。また、背景輝度の低下に伴い各視標速度とも KVA は低下するが、背景輝度 200 cd/m² よりも 100 cd/m² の方が KVA は良好であることは、300~500 ルックス (視標の反射率が 100% の時 96~159 cd/m²) で KVA が最も良く、130 cd/m² で最も安定して見えるとする鈴村⁷⁾ の報告と一致している。鈴村が試作した AS-4 A 型動体視力計 (Kinetic Vision Tester[®]) では背景輝度 130 cd/m²、視標速度 30 km/時を採用しているが、本装置でも簡易計測として背景輝度 100 cd/m²、視標速度 30 km/時を用いることは適当であろう。図5から、目標物が高速なほど早く弁別できることがわかった。すなわち、高速運転においても障害物の早期発見が可能である。しかし、障害物を見落とせば、高速であるために短時間のうちに障害物に到達することになり、交通災害を来すことになる。障害物早期発見の重要性が再確認された。

KVA と短時間提示における視力値を比較してみる。動体視力測定では経時的にランドルト環の視角が大きくなっていくので、視力の時間的加重効果 (temporal summation) とともに空間的加重効果 (spatial summation) についても考慮すべき¹²⁾である。視力測定とは解像閾値 (resolution task) を求めることであり、形態覚評価の一要素とされる¹³⁾が、その過程には網膜上の光強度分布の検知 (detection task) が必要である。したがって、動体視力をランドルト環の切れ目の検出と解釈し、光覚のよう

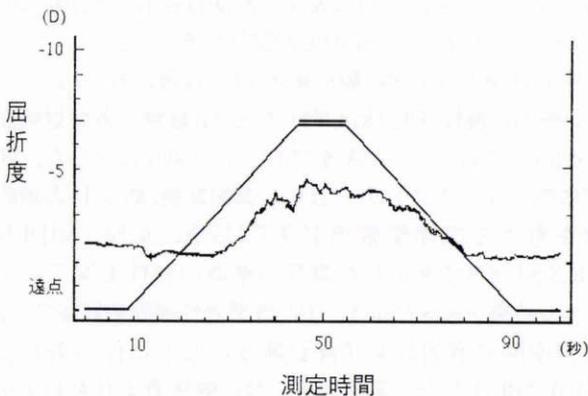


図7 NIDEK AR 3-SV 6[®]を用いて測定した調節緊張患者 TT (28歳, 女性, 右眼) の調節の準静的特性。

に輝度 L に刺激面積 S を乗じた $L \times S$ が閾値を規定する (Ricco の法則) と仮定する。空間的加重効果の限界は中心部で視角約 4.2 分である¹⁴⁾とされる, すなわち視力 0.23 あたりまでは空間的加重効果の成立範囲内と考えられる。そこで, 著者らは以下のようにランドルト環の切れ目の光量に着目した。

$$Q = S \times L \times t$$

Q : 切れ目の光量, S : 切れ目の面積, L : 背景輝度, t : 提示時間

また, 視角は提示時間の一次関数 $f(t)$ で, 視標距離 70 m で視角 1/1.6 分, 4.4 m で 10 分であるから, 切れ目の視角 (A) と時間 (t) との間には図 9 に示すように,

5 km/時では $A = 0.20t + 0.625$, 10 km/時では $A = 0.40t + 0.625$, 30 km/時では $A = 1.2t + 0.625$, 50 km/時では $A = 2.0t + 0.625$, 70 km/時では $A = 2.7t +$

0.625 , 100 km/時では $A = 4.0t + 0.625$

の関係がある。動体視力の場合は,

$$Q = L \times \int (f(t))^2 dt$$

で算出できる。

一方, 短時間提示視力の場合は,

$$Q = S \times L \times t = A^2 \times L \times t$$

となる。

このようにして各視力を得るのに要した光量を算出し, 健常者 SY (29 歳, 女性) の動体視力の場合を図 10 に, 短時間提示視力の場合を図 11 に示す。両者とも類似した分布を示していることがわかる。動体視力・短時間提示視力ともランドルト環の切れ目の光量によって決定される可能性がある。SY と同様に中心性漿液性網脈絡膜症患者 IT (35 歳, 男性) の結果を図 12, 13 に, 調節緊張患者 TT (28 歳, 女性) の結果を図 14, 15 に示す。中心性漿液性網脈絡膜症をはじめ, 各種黄斑部疾患では視力の時間的加重効果が遅延し, 飽和視力に達するまでの時間, すなわち臨界時間の延長が報告¹⁵⁾されている。今回

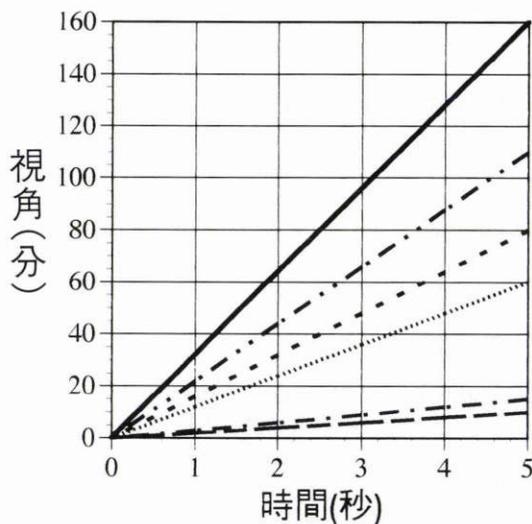


図9 各視標速度における経過時間とランドルト環の切れ目(視角)の関係。

視標速度 (km/時) —: 0, ---: 5, - · - ·: 10, ·····: 30, - - - -: 50, - - - -: 70, ———: 100

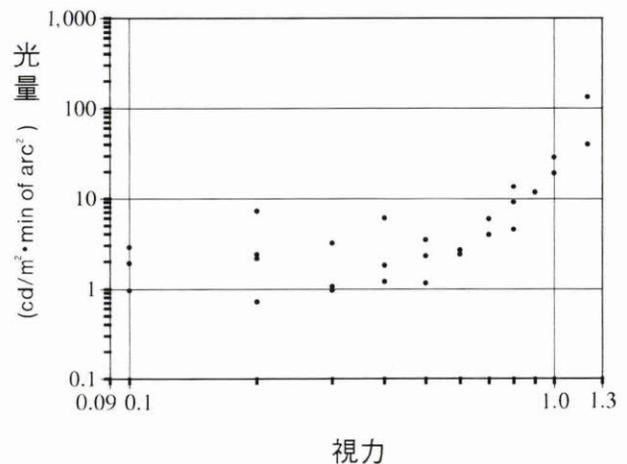


図11 健常者 SY (29 歳, 女性, 右眼) の各視力値 (短時間提示視力) を得るのに要する光量。

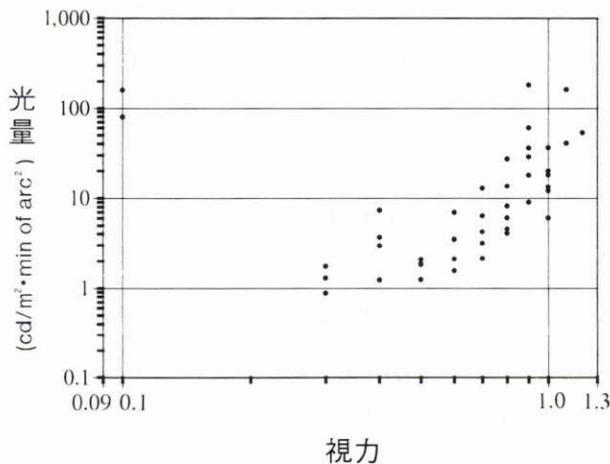


図10 健常者 SY (29 歳, 女性, 右眼) の各視力値 KVA を得るのに要する光量。

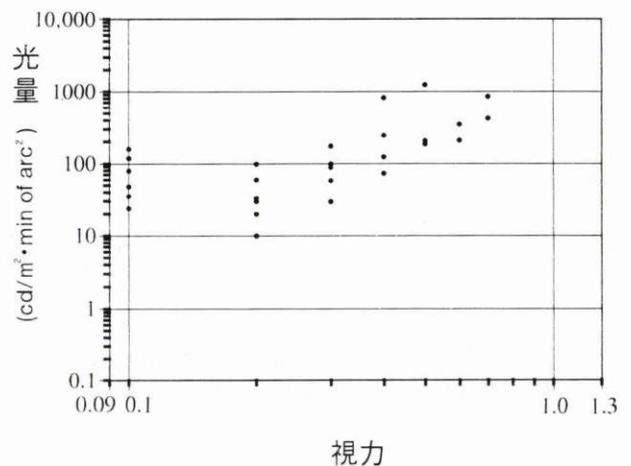


図12 中心性漿液性網脈絡膜症患者 IT (35 歳, 男性, 左眼) の各視力値 KVA を得るのに要する光量。

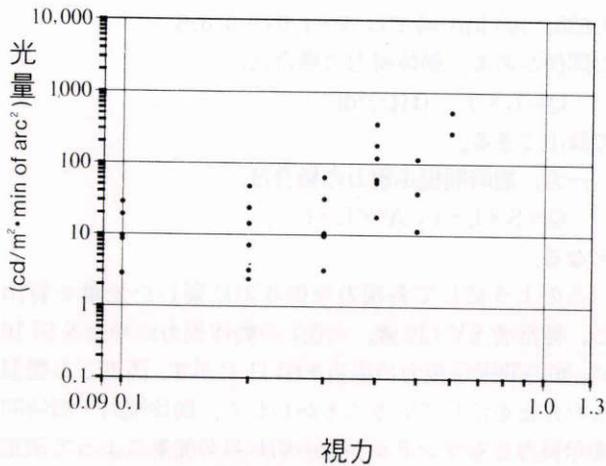


図13 中心性漿液性網脈絡膜症患者 IT (35 歳, 男性, 左眼) の各視力値 (短時間提示視力) を得るのに要する光量.

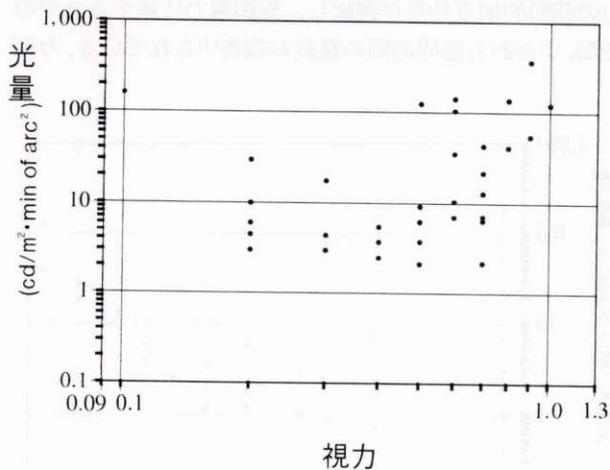


図14 調節緊張患者 TT (28 歳, 女性, 右眼) の各視力値 KVA を得るのに要する光量.

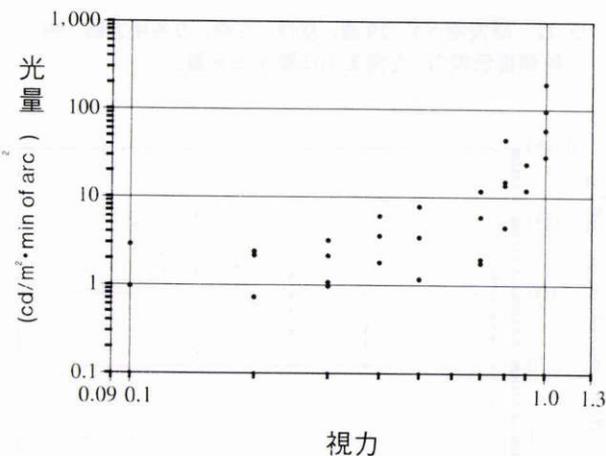


図15 調節緊張患者 TT (28 歳, 女性, 右眼) の各視力値 (短時間提示視力) を得るのに要する光量.

の測定でも時間的加重効果が遅延した。動体視力も健常眼よりも著しく不良であった。山田ら¹⁶⁾は動体視力と 10

msec 視標を提示した際の短時間提示視力との関係を調べ、調節速度の遅い被験者を除いた場合、両者間に強い相関がみられるとした。したがって、動体視力を左右する因子として短時間提示視力は重要な役割を果たすが、短時間提示視力のみでは動体を追従明視することはできず、動体視力には調節機能が関与し、短時間提示視力よりも高次の視機能を反映すると推定した。本装置では視標移動距離が 70~4.4 m, すなわち 0.014~0.23 D の調節負荷であり、少なくとも調節力が KVA に影響しているとは考えにくい。しかし、山田は KVA が調節応答時間や調節速度と関連するとしている¹⁶⁾¹⁷⁾。本実験でも調節緊張眼では健常眼よりも動体視力の低下が著しいものの、短時間提示における視力値は健常者と差はなかった。このことから、調節機能が動体視力に何らかの関連性があることが予想される。

本研究は一部文部省科学研究費試験研究 (B) 課題番号 04557075 の補助により行われたことを付記し、ここに感謝する。

文 献

- 1) Lukiesh M, Moss FK: Quick and certain seeing on street and highways. In: Seeing and Traffic Safety. General Electric Company, Creeveland, 1940.
- 2) Ludovich EJ: The visibility of moving objects. Science 108: 63-64, 1948.
- 3) Brown B: Dynamic visual acuity, eye movements and peripheral acuity for moving targets. Vision Res 12: 305-321, 1972.
- 4) Brown B: Resolution thresholds for moving targets at the fovea and in the peripheral retina. Vision Res 12: 293-304, 1972.
- 5) Burg A: Visual acuity as measured by dynamic and static tests. A comparative evaluation. J Appl Psychol 50: 460-466, 1966.
- 6) 荻野柳太郎: 動いているものの見え方. 日眼会誌 59: 743-750, 1965.
- 7) 鈴村昭弘: 空間における動体視知覚の動揺と視覚適正の開発. 日眼会誌 75: 1974-2006, 1971.
- 8) 総務庁 (編): 交通安全白書 (平成 6 年度版). 大蔵省印刷局, 東京, 1-291, 1994.
- 9) Arnold DC, Tinker MA: The fixational pause of the eyes. J Exp Psychol 25: 271-280, 1939.
- 10) 大山 正: 空間知覚, 田崎京二, 他 (編): 視覚情報処理-生理学・心理学, 生体工学一, 朝倉書店, 東京, 256-295, 1978.
- 11) 丹羽一司, 奥山文雄, 所 敬: 試作タキストスコープを用いた視力の時間的加重効果測定. 日眼会誌 19: 475-480, 1995.
- 12) Adelson EH, Bergen JR: Spatiotemporal energy models for the perception of motion. J Opt Soc Am 75: 284-299, 1985.
- 13) 北原健二: 視力の概念についての最近の知見. あたらしい眼科 10: 1279-1284, 1993.
- 14) Inui T, Mimura O, Kani K: Retinal sensitivity and spatial summation in the fovea and para-

- foveal resion. J Opt Soc Am 71: 151—154, 1981.
- 15) 黄野桃世, 山出新一, 深見嘉一郎: 眼疾患における視覚の時間加重効果(1) 視力測定の時標提示時間について. 日眼会誌 95: 184—189, 1991.
- 16) 山田久恒, 森田修朗: 動体視力に関する研究—眼調節のトレーニングが動体視力に及ぼす影響について. 体育学研究 14: 73—81, 1969.
- 17) 加藤桂一郎, 山口 洋: スポーツと視力. あたらしい眼科 10: 1305—1311, 1993.
-