

## 視力と調節・屈折

鵜飼 一彦

北里大学医学部  
〒228 相模原市北里1-15-1

### 1. 視力とその測定

#### 1.1 視力

光の存在や強さを知覚する視機能を光覚と呼ぶ。しかし、実生活上では、光覚よりも光の強さの空間的な分布を知覚する視機能が重要である。この視機能としては、点や線の存在を認識しうる最小の限界である視認閾、二点や二線の分離を知覚する最小分離閾、文字などの形状を認識する最小可読閾や、識別できる明暗のコントラストの限界であるコントラスト閾などが考えられる。このうち最小分離閾は、一般に視力といわれ、もっともよく知られている。視力の数値は、分離できる最小の距離を視角（単位：角度の分）で表わしたときの逆数で示す。その視標としては図1に示すランドルト環を用いる。ランドルト環は環の太さと切れ目の幅が等しく、外径はそれらの5倍となるように定められている。すなわち、視角の1分は5mの視距離で約1.5mmとなるため、外径が7.5mmで太さと切れ目の幅がそれぞれ1.5mmのランドルト環の切れ目がかろうじて識別できる眼の視力は1.0となる。

視力は通常視軸上で最良となる。これを中心視力という。周辺視力では、視線と視標が2度離れると約0.4、5度離れると0.1に低下する。また、両眼で測定された視力（両眼視力）は、片眼視力のうち左右どちらか良い方

の視力と一致するか、あるいはそれよりも若干良い。

日本人の健常視力は1.2ないし1.5である。しかし、実用的には1.0以上を健常視力とすることも多い。

小児の視力は成人より悪く、生後2ヶ月で0.01、1年で0.2、3年で0.5、7年で1.0といわれている。（ただし、測定法の進歩でこの数値はもう少し良いのではないかと考えられている。）視機能の発達にはそれだけの期間が必要だということであろう。

同一の眼でも視標の輝度やコントラストにより視力は変化する。通常の白紙に印刷された視力表で、その照度が200ルクス以上では1.5以上の視力が得られるが、10ルクスでは1.0、1ルクスでは0.7、0.1ルクスでは0.3と低下する。コントラストの低下によっても視力は低下する。一般に視力検査では高コントラストの視標を使用する。

特別な場合には、視標の空間的条件（たと

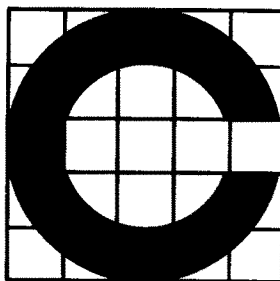


図1. ランドルト環。線の太さと切れ目は環の直径の1/5。

えば、視標として縞を使った場合の縞の粗さ)を変数にして、コントラスト閾を測定することがある。このようにして測定された視機能をコントラスト感度特性と呼び、視力が「どこまで細かいものが見えるか」を示すのに対して、粗いものから細かいものまで広い範囲の視機能を評価することが可能である(本誌3巻1号山出先生の解説を参照)。

## 1.2 視力の測定

臨床的には片眼での遠方視力を測定する。日本では視距離は通常5 mである。視標はランドルト環を用いる。視力0.1~2.0まで(0.1~1.0までは0.1きざみで、さらに1.2, 1.5, 2.0を追加)のランドルト環をそれぞれ数個ずつ並べたものを視力表という。視力表には、この他にもかなや数字、魚の絵を並べたもの、外国ではE文字視標なども使用される。これらを補助視力表という。

実際の視力測定では、被験者には切れ目の方位を答えさせる。分からないと思われる場合にも、もっとも切れていそうな方位を答えさせるようにし、「わからない」などの返答は避け、答えが合っているか否かで判定を行なう。閾値付近では数回の測定を行ない、合った回数が偶然合うと思われる回数よりも統計的有意に上回る場合には見えたのみならず。

視力が0.1ない場合には、0.1のランドルト環(5 m用)を視距離を短縮して見させ、測定する。たとえば、2.5 mで見えれば、視力は0.05となる。50 cm(0.01)でも見えない場合には、検者の手を開いて、その指の数を言わせる。これが、たとえば、30 cmでわかれば、視力=30 cm/指数となる。さらに、眼前にて指数が分からない場合には、手を左右上下に動かして、その動きが分かるかどうかを見る。これが、30 cmでわかれば、視力=30 cm/手動となる。この手の動きも分からない場合には、暗室でペンライトなどを用

い、明暗の感覚を調べる。この感覚があれば、視力=光覚、なければ、視力=0となる。なお、指数をnd (numens digitorum), 手動をmm (motus manus), 光覚をsl (sensus luminis)とも記載する。

なお、視力の定義、ランドルト環の大きさ、数値の段階、補助視力表、測定環境、測定回数などについては、ISOにより国際的な規格が定められている(本誌1巻2号最後にISO8597(補助視力表)とISO8596(標準視力表と提示法)のdraft原文がある)。本文付録にその概要を示した。

## 1.3 視力の異常

一般的に日常会話において視力と言った場合、裸眼での視力を指す。しかし、これは屈折の異常(特に近視)を視力の低下の程度で推測するための便方である。眼科的には視力と言えは矯正視力のことを言う。なぜなら、屈折の異常は屈折の異常として表示できるし、また、眼科では多くみられる「ものが見にくい」などの訴えに対し屈折異常がその原因か否かを鑑別する役を、視力検査が担っているためである。視力が低下していれば、屈折異常以外の原因が存在することを示し、必ずその原因を考えねばならない。

なんらかの原因で、両眼矯正視力が0.3に達しないものを社会的あるいは教育的弱視といい、多くは網膜疾患や視神経疾患など器質的病変を持つ。

また、直接視力低下に結び付く器質的病変がないにもかかわらず健常視力が得られないものに医学的弱視(amblyopia)がある。医学的弱視の原因は、幼時の視力発達期間を十分な視覚刺激なしに、あるいは両眼視が成立しないままに過ごしてしまったことによる。もっとも感受性の強い時期では、わずか数日の眼帯で弱視となることもある。医学的弱視はその原因により、屈折異常性弱視・不同視弱視・視性刺激遮断弱視・斜視弱視・眼振弱視

などに分けられる。発達期間を過ぎた後に刺激を妨げる原因を取り除いても視力は良くならない。

## 2. 眼球光学系

### 2.1 幾何光学の基礎

焦点距離が $f$ の薄い凸レンズを考える。レンズから物体までの距離を $a$ 、レンズから像までの距離を $b$ とすると、

$$1/a + 1/b = 1/f$$

という式がなりたつ。焦点距離の逆数をパワーと呼ぶ。虚像のできる場合は $b$ を負に、凹レンズの場合には $f$ を負にすれば、この式は結像関係を示す基本式となる。一般にレンズの中心に向かう光線は、レンズにより屈折されることなくレンズから外に向かう。すなわち、入射角と出射角が等しい。このレンズの中心を節点と呼ぶ。また、レンズの光軸と平行にレンズに入射した光は、レンズの焦点に向かって進む。厳密にはレンズから物体・像までの距離はレンズの主点を起点とする。通常、主点と節点の位置は同じである。以上が幾何光学の基礎である。

レンズが厚くなった場合には、物体までの距離の起点と像までの距離の起点が少し離れる。これらを物体主点・像主点という。この場合にも節点（物体節点・像節点）は主点と一致する。物体の置かれている媒質と像面の媒質が異なる場合には主点と節点の位置は異なってくる。眼もこれに該当する。眼の物体主点は後述のように、屈折関係の距離の起点となる。また、物体節点は視角の起点となる。

焦点距離が $f_1$ のレンズと $f_2$ のレンズを距離 $d$ だけ離して置いたとき、全体を一つのレンズとみなした場合の合成焦点距離 $f$ は

$$1/f = 1/f_1 + 1/f_2 + d/f_1 \cdot f_2$$

で表わされる。したがって、二枚のレンズが密着している場合には、合成レンズのパワー

はそれぞれのレンズのパワーの単純な和で近似できる。

### 2.2 眼球の光学

図2のように、眼球光学系を模式的に表わす。ここで、 $F$ は中心窩、 $N$ は節点 (nodal point)、 $P$ は主点 (principal point)、 $C$ は角膜曲率中心 (center of curvature of the cornea)、 $E$ は入射瞳 (entrance pupil) の中心、 $R$ は眼球回旋中心を示す。 $N \cdot P \cdot C$ は一応直線上にあると考え、この直線を眼の光軸 (optical axis) とする。実際の人間の眼がものを見る時には、物体の像が中心窩にできる必要がある。逆に言えば、 $F \cdot N$ の延長線上にある物体が注視点 (fixation point) となる。この線を視軸 (visual axis) という。ただし、節点は通常測定困難であり、 $E$ と非常に近いところにあるので、 $E \cdot$ 注視点を視軸の替りに使用することがある。これを、照準線 (line of sight) と呼ぶ。また、眼球が動いた時にも空間的に移動しないことから、 $R \cdot$ 注視点に注目することがある。これを、注視線 (fixation line) と呼ぶ。その他、 $C \cdot E$ を結んだ線を瞳孔中心線 (pupillary axis) と呼ぶ。

光軸—視軸、光軸—注視線、瞳孔中心線—視軸、瞳孔中心線—照準線のなす角を、それぞれ、 $\alpha$ 角、 $\gamma$ 角、 $\kappa$ 角、 $\lambda$ 角という。偽斜視の判定などに必要となる。

光軸と角膜、網膜の交点を前極 (anterior pole)、後極 (posterior pole) と呼び、両者の間

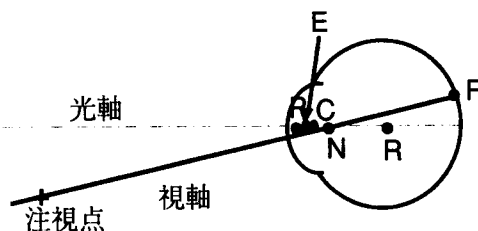


図2 視軸と光軸

$P$ :主点;  $N$ :節点;  $C$ :角膜曲率中心;  
 $E$ :入射瞳中心;  $R$ :回旋中心点;  $F$ :中心窩.

隔を眼軸長という。この様子は地球儀を横にして、北極あるいは南極が前になるようにした時と同じであり、このアナロジーから、屈折に関する用語、経線 (meridian) が理解できる。ただし、角度の取りかたまでは同じではない。経線の方位は、両眼とも向かって右側を  $0^\circ$  とし、反時計周りにとる。正乱視 (後述) を考えているかぎり、 $180^\circ$  から  $360^\circ$  までの経線での屈折は  $0^\circ$  から  $180^\circ$  の経線での屈折と同じになる。通常、経線は、 $0^\circ < (\text{経線の方位}) \leq 180^\circ$  で示す。 $0^\circ$  を使用せず、 $180^\circ$  を使用するの習慣であり、 $0$  がアルファベットや記号と混同しやすいためであろう。

主点は屈折など結像関係の距離の起点として、節点は視角 (visual angle) の起点として重要である。輻輳角 (単位は MA : meter angle) は両眼の回旋中心の中間を起点とし、両眼の注視線の交点までの距離をメートルで測定した値の逆数である。主点は角膜頂点から  $1 \sim 2 \text{ mm}$  の所に、節点は約  $7 \text{ mm}$  のところにある。 $\alpha$  角は、通常  $4 \sim 7$  度である。

なお、詳細は本誌 1 巻 1, 2 号の魚里博士の講義を参照していただきたい。

### 2.3 眼の屈折状態

人間が外界の物体を明瞭に見るためには、その物体の眼球光学系による像が正しく網膜上に結像する必要がある。今、眼前  $a \text{ m}$  にある物体が網膜上に結像しているとする。このときの眼球光学系の状態は、物体までの距離の

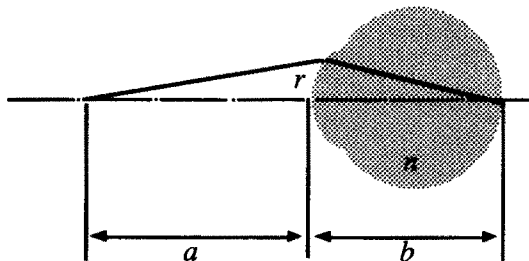


図3 単純化された眼球光学系

逆数、すなわち  $1/a$  で表すと便利である。単位はディオプター (diopter, D) である。ディオプターは屈折力や眼の屈折に限らず、光学的な距離 (メートル) の逆数一般の単位である。たとえば、無限遠方にある物体がちょうど網膜上に結像していればこの眼の屈折状態は  $0 \text{ D}$ 、眼前  $1 \text{ m}$  の物体が結像していれば眼の屈折状態は  $1 \text{ D}$ 、 $50 \text{ cm}$  ならば  $2 \text{ D}$ 、 $20 \text{ cm}$  なら  $5 \text{ D}$ 、 $10 \text{ cm}$  なら  $10 \text{ D}$  である。

この量を光学的に考えてみよう。まず、単純のため、眼球光学系を図3のように屈折率  $n$  の均一媒質と曲率  $r$  の一屈折面からなるとする。このとき、

$$1/a + n/b = (n-1)/r$$

という光学の基本的な関係がなりたつ。ここで  $(n-1)/r$  は屈折面の屈折力 (refractive power), パワーである。普通のレンズなら焦点距離の逆数 (すなわち屈折力, パワー) に相当する項である。この式の量のうち  $n, b, r$  は眼球光学系に属する量であるが、これらの量を一々考慮するのは眼がどこを見ているかという問題を扱う際には面倒である。このためには、

$$1/a = (n-1)/r - 1/b$$

という量だけを考えれば良い。この  $1/a$  が先の眼の屈折である。この量は、後に述べる、調節や、屈折異常の眼鏡による矯正を扱うときに非常に便利である。なお、眼屈折がマイナスとは眼よりも後方にある物体 (自然には存在しないが、光学的手段により作ることができる) が網膜上で結像する状態である。屈折異常の測定機器では、この量を計測しているにもかかわらず、表示には必要な矯正レンズのパワーを使用していることに注意していただきたい。

## 3. 調節

### 3.1 調節

先に示した眼の屈折は同一人においても常に一定ではなく、物体の遠近により明瞭な像

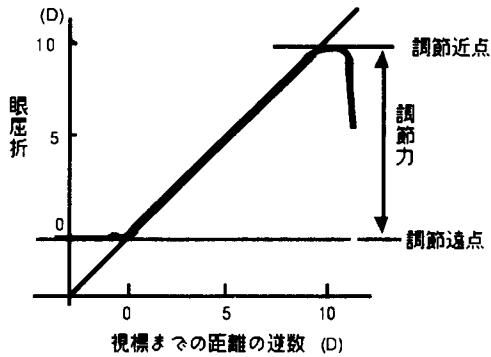


図4 調節機能

を保つために変化する。この機能を調節 (accommodation) という。調節の働きを図4に示す。横軸には物体までの距離を距離の逆数で、縦軸にはそのときの眼屈折をとってある。調節の近い方の限界を調節近点 (accommodative near point), 遠い方の限界を調節遠点 (accommodative far point) と呼ぶ。ディオプターで表した近点と遠点の差を調節力 (range of accommodation) という。また、実際の距離で示した調節可能範囲を調節域という。調節遠点が0 Dであるものを正視 (emmetropia) と呼ぶ。

健常者の調節遠点・近点の年齢による変化を図5に示す。約40歳までは遠点が0 Dで正視であるが、年齢がそれ以上になると調節遠点がマイナスとなり、次節で述べる遠視の傾向を示す。近点は年齢に応じて遠方へ移動するので、調節力は年齢が増加するにつれ減少する。また、調節遠点・近点は遠視・近視の存在により変化するが、両者は同様に変化し、したがって、調節力は遠視・近視とはほぼ無関係である。

### 3.2 調節のメカニズムと神経支配

調節は、図6に示すように、毛様体の中にある毛様体筋が収縮することによりチン (Zinn) 小帯が弛緩し、水晶体が自己の弾性によってその形状を変え、水晶体前面の曲率が

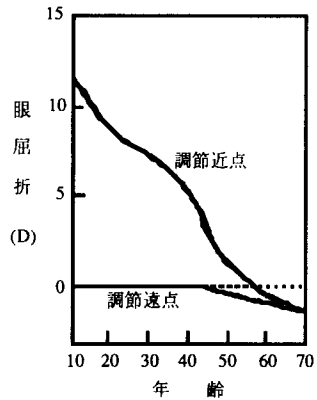


図5 調節近点、遠点の年齢による変化。

増加し、屈折力を増す働きをいう。調節の神経支配は、中脳水道の底部にある動眼神経核中の調節核に発し動眼神経中を走って毛様神経節に入りここで中継されて短毛様神経により眼球に進入し毛様体筋に達する。この神経は副交感神経である。また、この経路は縮瞳・輻輳の支配神経と接近しており、これらの機能は近見に際し同時に働く。これを、近見反応とよぶ。古くから調節筋の作用は副交感神経による近方への調節のみで、遠方への調節は単なる調節の弛緩によると考えられている。交感神経の関与を考える者もいるが、あるとしてもその程度は小さいと思われる。

### 3.3 調節の異常

図5に示したように年齢とともに調節力は

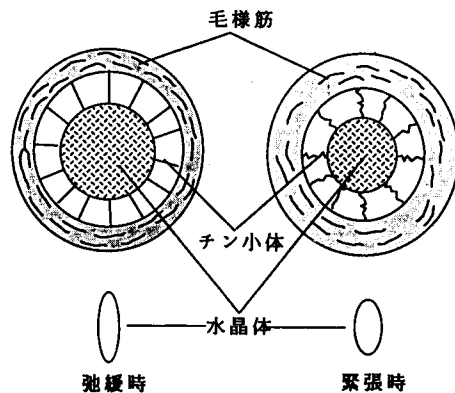


図6 毛様筋、チン小帯、水晶体の関係と調節 (模式図)。

衰えていく。加齢による生理的な調節力の低下により、屈折異常を矯正しても、日常生活に影響を及ぼすようになると、これを老視 (presbyopia) と言う。水晶体の硬化が原因と考えられている。

調節機能の障害のおもなものは、麻痺と衰弱と痙攣である。調節が遠点側に固定されることを調節麻痺 (paralysis of accommodation), 近方視が困難になるものを不全麻痺 ( paresis of accommodation), 近点側に固定されることを調節痙攣 (spasms of accommodation) と言う。調節近点を反復測定すると徐々に遠ざかるものを調節衰弱 (weakness of accommodation) といい、眼精疲労と密接な関係がある。調節の速度が低下するものを調節遅鈍 (tonic accommodation) という。

#### 4. 屈折異常とその矯正

##### 4.1 正視

調節をしなくとも、遠方の物体が明瞭に見える状態を正視 (emmetropia) と定義する。また、その眼を正視眼 (emmetropic eye) という。それ以外の状態を屈折異常 (ametropia) という。この定義は、ドンデルス (1864) によって確立された。前節の言葉を使って言い換えれば、調節遠点が 0 D となる眼が正視眼であ

る。このような定義が確立する以前は、調節力の生理的低下である老視と調節遠点の異常である屈折異常が明確に区別できなかった。現在でも、一般的には、遠視と老視は混同されていることが多い。

調節の説明抜きでは屈折異常の説明はできない。市販の眼科教科書で調節と屈折のどちらが先に記載されているかを調べると、著者のこの問題に対する理解度がわかる。

##### 4.2 遠視

遠視 (hypermetropia) は、調節遠点が負の眼屈折となる屈折異常をいう。したがって、調節弛緩時に無限遠からきた平行光束は網膜よりも後方で結像する。遠視眼の調節可能範囲を図7により説明する。図7の(a)は図4と同じものである。また、図7の(e)は図5と同じである。図7(e)の15歳のところをみると、その調節遠点と調節近点は 0 D, 10 D であり、その調節範囲は(b)ようになる。この調節範囲を全体に下方にずらした状態(c)が同年齢の遠視眼である。(c)では調節遠点が -3 D となっている。したがって、この人の調節は(a)の細線のようになる。0 D (無限遠) から調節近点までは調節可能であり、程度が軽ければ、実生活上さほど困難を感じない。しかし、たとえ無限遠を見ている調節弛緩には

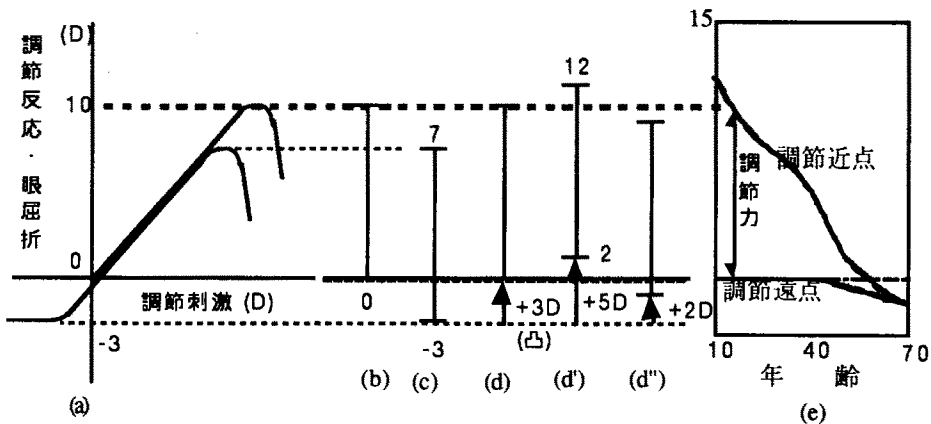


図7 遠視の調節可能範囲。(a)の太線, (b), (e) : 15歳の正視の調節可能範囲 ; (a)の細線, (c) : 15歳の遠視例の調節可能範囲 ; (d) : (c)を+3 Dのレンズで矯正 ; (d') : (c)を+5 Dのレンズで矯正 (低矯正) ; (d'') : (c)を+2 Dのレンズで矯正 (過矯正)。

ならない。このことから、通常は5 mで行なう遠方視力の測定だけからは遠視の発見は困難であるということ、そして、調節の努力のために眼精疲労を起しやすいうことが考えられる。

遠視眼の矯正は、無限遠方にある物体の像が矯正レンズによりあたかもその人の調節遠点（眼屈折はマイナス）にできるようにすればよい。このため、凸レンズの焦点を遠点と合致させるようにすればよい。このことは、凸レンズと眼の間隔を無視すれば、調節遠点での眼屈折と符号のみ異なる屈折力の凸レンズを用いればよい。たとえば、調節遠点が $-3\text{ D}$ の人の場合に屈折力が $+3\text{ D}$ のレンズ（凸）をかけたとすると、無限遠方の物体の像は、眼の後方 $33\text{ cm}$ のところでき、この人は調節弛緩時にレンズを介して無限遠方を見ることができる。また、近方の物体、たとえば $25\text{ cm}$ のところを見るのに必要な調節量は $4\text{ D}$ であり、正視眼と同じである。

眼鏡レンズをかけている人がどの位置に焦点を合わせているかは眼鏡レンズの屈折力を眼屈折に単純にたし合わせればよい。厳密には眼鏡レンズと角膜頂点の距離が通常は $12\text{ mm}$ 、眼鏡レンズと物体主点の距離が $14\text{ mm}$ あるため、それを考慮しなければならない（換算式はコンタクトレンズの項を参照）が、レンズの屈折力が弱い場合には、単純なこの方法で求めても大きな誤差は生じない。この計算法によると、調節遠点が $-3\text{ D}$ の遠視の人に $+3\text{ D}$ のレンズをかけた場合の調節可能範囲は、図7(d)のように正視の人とほぼ同じになる。ここで示したように屈折を扱う際には、眼屈折ではなく矯正に必要なレンズのパワーで眼の様子を示す。たとえば、調節遠点が $-3\text{ D}$ の眼のことを、 $+3\text{ D}$ の遠視という。

遠視に屈折力の過大なレンズを使用した場合は遠方視力が低下するのですぐ発見できる

が、屈折力の不足なレンズを使用した場合は調節が働くため遠方視力からは発見しにくく、そのような状態になりやすい。このことは、図7(d'), (d'')から容易に理解される。また、一般にはレンズの屈折力の絶対値が過大なことを過矯正、その逆を低矯正という。しかし、矯正後なお遠方視に調節が必要なことを過矯正と言うこともあり、両者で遠視の場合には逆の呼び方になる。近視の矯正では両者の立場に差はない。後者の立場に立つと、眼鏡処方の際、「過矯正となりやすいので注意が必要である。」と、遠視・近視の区別なくいえる。ここでは後者の立場にたつ。

遠視の成因は眼軸長が短いか、角膜あるいは水晶体の屈折力が弱いからである。前者を軸性遠視、後者を屈折性遠視という。軸性遠視は先天的に、あるいは幼児等において眼球が小さいことによる。屈折性遠視は少ないといわれている。また、白内障などで水晶体を摘出した場合には、水晶体の屈折力に対応した約 $13\text{ D}$ だけ眼屈折がマイナスよりとなり、屈折は遠視よりとなる。

### 4.3 近視

近視(myopia)は調節遠点が無限遠に達しない状態、すなわち調節弛緩時に平行光線が網膜よりも前方で結像する状態である。したがって、近視の矯正には、調節遠点に凹レンズの焦点を合致させるようにすればよい。近視では遠方視力が低下する。したがって、視力検査のスクリーニングでも発見はやさしい。近視の過矯正は遠視と同じ状態（過矯正となりやすく、視力からその判断がつきにくく眼精疲労を導きやすい）となるので注意を要する。

図8に近視眼における調節可能範囲を示す。(a)は15歳の正視者、(b)は同年齢で調節遠点が $4\text{ D}$ の近視者、(c)は(b)の近視に屈折力が $-4\text{ D}$ の凹レンズをかけた場合、(d)は $-7\text{ D}$ の凹レンズをかけた場合で過矯正とな

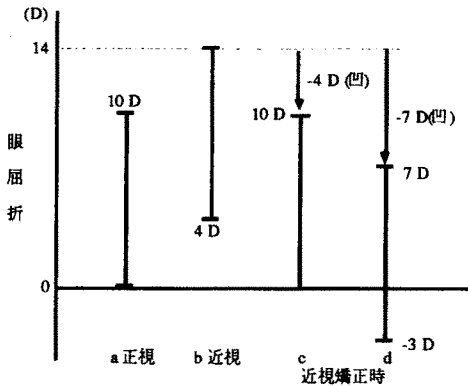


図8 近視の調節可能範囲 (15歳の例)

り、遠視眼と同じようになる。

近視の成因は遠視とは逆に眼軸が長い、角膜や水晶体の屈折力が強いから、前者を軸性近視、後者を屈折性近視という。一般に、軸性近視は遺伝的なものと考えられ、屈折性近視は過度の近業などにより起きると考えられている。近視の程度は、 $-3\text{ D}$ までを弱度、 $-3\text{ D}$ から $-6\text{ D}$ までを中等度、 $-6\text{ D}$ から $-10\text{ D}$ までを強度、それをこえるものを最強度とする。なお、近視の約5%は病的近視で、進行性であり、強度近視となり適度な眼鏡を装用しても良好な視力が得られない。良性でも進行性の場合もあり、強度近視で良性の場合もある。近視では眼底に変化がみられ、コーヌスと豹紋状眼底が特徴的である。病的近視では、後極部にBruch膜の断裂、網脈絡膜萎縮、後強膜ぶどう腫、Fuch's斑などがあり、周辺部には硝子体と網膜の癒着のみられる格子状変性がみられ、硝子体変性がある。裂孔原性網膜剥離、脈絡膜出血、緑内障、硝子体混濁などの合併症がある。

#### 4.4 乱視

乱視(astigmatism)とは、通常角膜が、時として水晶体が正しい球面となっていないため、球面レンズにより矯正できない屈折異常のことをいう。このうち、経線の方によって曲率が異なり、円柱レンズ(図9)で矯正可能なものを正乱視と呼び、それ以外を不正

乱視と呼ぶ。不正乱視は、角膜の表面が円錐形をしている(円錐角膜)、不整であるなど、眼鏡レンズでは矯正不可能である。軽度なものにはコンタクトレンズで矯正可能である。

正乱視には屈折力のもっとも強い経線と、必ずそれに直交している最も弱い経線があり、これらを主経線という。また、前者を強主経線、後者を弱主経線という。乱視のモデルとして、凸レンズに円柱レンズが重なっている時の、平行光束の結像状態を図10に示す。入射した平行光束は、スクリーンの位置を変化させると、両主経線方向の屈折力に相当する位置でそれぞれ直線の像となる(焦線)。前側の(より近視側の)焦線を作る主経線が強主経線である。また、両者の間で円形の像(最小錯乱円)を、それ以外の面で楕円形の像を作る。主経線方向以外の経線の軸外に入射した光は光軸と空間的にねじれの関係にあり交わらない。

正乱視は、主経線の方位により次のように分類される。

- ・直乱視 (強主経線が $90^\circ$ の乱視)
- ・倒乱視 (強主経線が $180^\circ$ の乱視)
- ・斜乱視 (主経線が斜めにある乱視)

ここで、直・倒という言葉は、健常者の角膜においても、水平方向よりも垂直方向の曲率半径がやや小さく、したがって、垂直方向が強主経線になっているため、これと同じ傾向

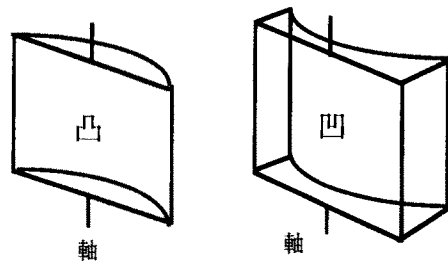


図9 円柱レンズ



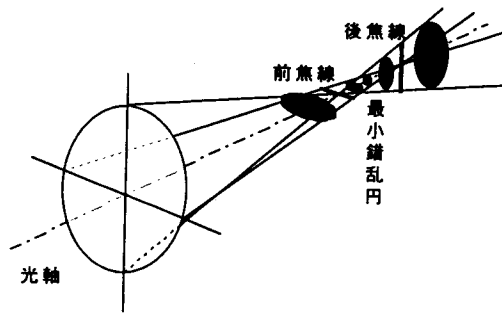


図10 乱視による結像

を持つ乱視を直, 反対のものを倒と呼ぶ。

また, 両主経線の屈折により次のような分類もなされる。

- ・近視性単乱視 (弱主経線には屈折異常のない乱視)
- ・遠視性単乱視 (強主経線には屈折異常のない乱視)
- ・近視性複乱視 (両主経線ともに近視の乱視)
- ・遠視性複乱視 (両主経線ともに遠視の乱視)
- ・混合乱視 (強主経線は近視, 弱主経線は遠視を示す乱視)

乱視がある場合, 屈折検査の結果は図11(a)

のように両主経線の方位とそれぞれの屈折で示す。この例では,  $180^\circ$  方向が $-3.0D$ で強主経線,  $90^\circ$  方向が $-2.0D$ で弱主経線である。このような, 乱視の矯正には次のような考え方で行なう。まず,  $-2.0D$ の凹球面レンズで矯正する。これで, 弱主経線方向の矯正は終わり, 強主経線方向には $-1.0D$ の乱視成分のみが残る。この残された成分を矯正するには,  $-1.0D$ の凹円柱レンズを軸が $90^\circ$ になるように置けばよい。ここで, 円柱レンズは図9のような形状をしており, 円柱軸に平行な向きを軸という。 $180^\circ$  経線の成分を矯正するのに  $90^\circ$  に軸を持つてくるのは, 円柱レンズの軸が屈折力のある経線方向を示すのではなく, もととの円柱の軸方向を示しているためである。このような矯正の処方方は, [球面:  $-2.0D$ , 円柱面:  $-1.0D$ , 軸:  $90^\circ$ ] と記す。なお, [球面:  $-3.0D$ , 円柱面:  $+1.0D$ , 軸:  $180^\circ$ ] と記しても最終的には同じ処方となる。一つの状態の記述に二つの記法が存在することになる。屈折の自覚検査の過程においては調節の関与を少しでも減少させるため, プラスの柱面レンズは使用されない。したがって, 検査を行な

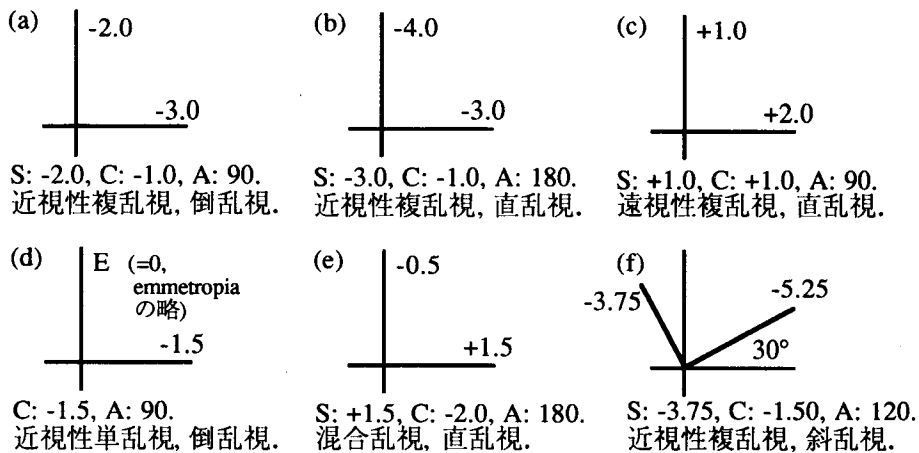


図11 乱視の例

う立場からは、柱面值がすべてマイナスとなる記法が便利である。しかし、2枚の検眼レンズを重ねて使って矯正を確認するためには、光学レンズの収差をできるだけ小さくする方が望ましい。このためには、両主経線方向の屈折の絶対値の小さい方を球面レンズとすればよい。最近、この記法を国際的に統一する規格を作ろうとする動きがあるが、それによると、光学的立場を基本にして、混合乱視の場合のみ柱面值をマイナスとすることになるようである。

図11に乱視の例を挙げておく。他覚検査結果の記載、処方記載、分類が記してある。

#### 4.5 不同視・不等像視

不同視(anisometropia)とは、両眼で眼屈折の異なるものを言う。特に一眼の水晶体を摘出した時には強度の不同視となる。不等像視(aniseikonia)とは両眼の網膜像の大きさが異なるものを言う。一般に、不等像視が5%以上になると融像できなかつたり、融像できたとしても眼精疲労を引き起こす。

眼鏡レンズを通してものを見ると、凹レンズでは物体が小さく、凸レンズでは大きく見える。その倍率はレンズと眼の間隔およびレンズの屈折力により異なる。レンズと眼の距離を  $d$  (cm)、レンズの屈折力を  $P$  (D) とすると、像の大きさの変化率  $R$  (%) はおよそ  $R = d \times P$  で表わされる。不同視があると、両眼を眼鏡により完全に矯正した場合にこの効果により、不等像視が出る。特に2D以上の不同視では、注意が必要である。コンタクトレンズの場合は眼球に密着しているので像の倍率はほとんど1であり、不同視の矯正には適している。

### 5. 屈折・調節・視力の検査法

#### 5.1 一般的な屈折検査の流れ

屈折の検査用に多くの検査器械が開発されているが、各機器ともにそれぞれ限界があ

り、眼鏡処方は検眼レンズを用いたレンズ交換法で自覚的に最終決定されるのが通例である。ただし、他覚的な屈折検査は被検者の判断を必要としないため、幼児などの測定が可能である。自覚他覚それぞれいくつか方法があるがすべての方法で最初に行なうのが乱視の有無の検査である。乱視がある場合には、まず、主経線の方位を決定する。その後、強弱両主経線の屈折値を求める。乱視が無い場合は、どの方位でも良いから一度測定を行なえば球面值が得られる。

検査で重要なことは調節の関与をできるだけ無くし、過矯正を避けることにある。このため、測定の手順にいくつかの配慮がなされている。しかし、調節力の強い若年者ではこれらの処置も不十分で、調節麻痺剤を使用する。

#### 5.2 他覚的屈折検査

##### 5.2.1 角膜屈折検査 (オフサルモメーター、ケラトメーター)

乱視はその多くが角膜に原因がある。角膜前面の曲率を(したがって屈折力をも)任意の経線方向で測定する器械をオフサルモメーターあるいはケラトメーターという。眼球全体の屈折を測定する装置ではない。角膜乱視の測定以外に、コンタクトレンズ処方時に必要なベースカーブの測定にも多く用いられている。

##### 5.2.2 シャイナー(Scheiner)の原理

眼前に二つの小開口を置き、点視標を見る。被検眼の眼屈折と点視標までの距離が一致すれば網膜像は一つとなるが(図12 a)、一致しない場合には二つにずれて見える(図12 b, c)。多くの屈折検査機器がこの原理を利用している。

##### 5.2.3 検査法 (スキアスコープと板付レンズ)

検査法は簡単な道具で屈折が精度よく測定でき、後述のレフラクトメーターのように器

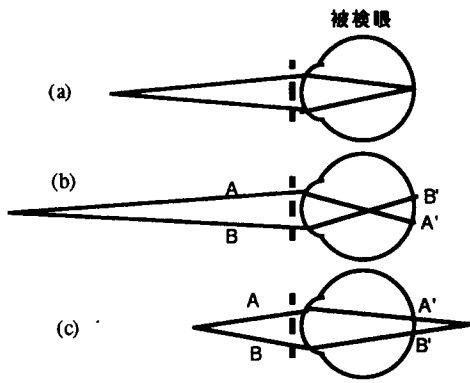


図12 Scheinerの原理

械近視の影響も少なく両眼開放下で自然視に近い状態で検査できるという長所を持つ。しかし、精度よく測定するためには熟練を要す。検査には検影器（種々あるがここでは線状検影器を例にとり説明する）と板付きレンズを使用する。検影法では検者と被検者がある距離（通常50cm）を隔てて向かい合い、検者の方向から被検眼にその瞳孔を横切るように光を投影する。このとき、被検眼の眼底に投影される光は、その屈折状態に応じて網膜上を移動する。この眼底上での光の移動は、被検眼の屈折状態に応じて眼外から様々に変化して観測される。まず、投影した光と反帰光の動きが斜めの関係になっているかど

うかを調べる。斜めになっている場合（図13a）には、投影した光の動きの方位が、主経線とずれていることを示し、斜めになっていない場合は、投影した光の動きの方位が主経線と一致しているか、乱視がないかである。このようにして、まず主経線の方位を決定する。以下では投影した光を主経線方向に動かし、検査を進める。投影した光と反帰光の動きが反対方向の場合を逆行（図13b）、同方向の状態を同行（図13c）と呼ぶ。図13（d）のように瞳孔全域が、同時に明るくなったり暗くなったりする状態を中和と呼ぶ。屈折の測定は、被検眼の眼前に板付きレンズを置き、中和となるようなレンズを捜すことによる。これを両主経線で行なえば、乱視は定まる。なお、検査距離50cmでは、-2Dの近視状態で中和となり、それよりも強い近視で逆行、弱い近視・正視・遠視で同行となる。

#### 5.2.4 レフラクトメーター

結像式と合致式がある。前者は外部から投影された視標の網膜上でのボケぐあいを、後者は投影された線状視標像の網膜上でのずれを、それぞれ眼外から観察する器械である。ここではシャイナーの原理に従っている後者について説明する。合致式レフラクトメーターの測定指標を図14に示す。図14（a）のように測定経線と乱視の主経線が一致していない

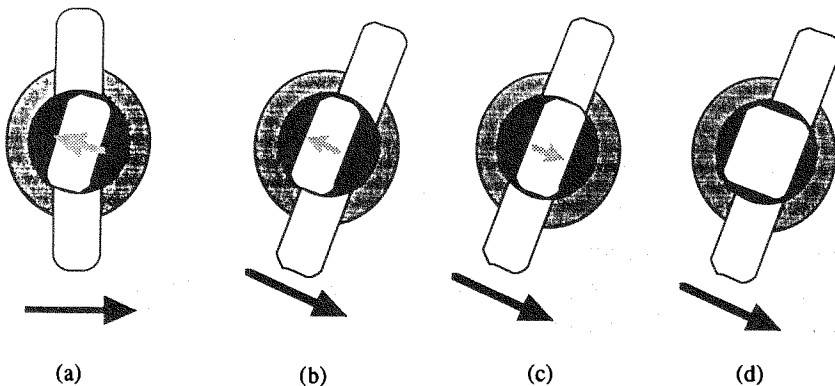


図13 検影法

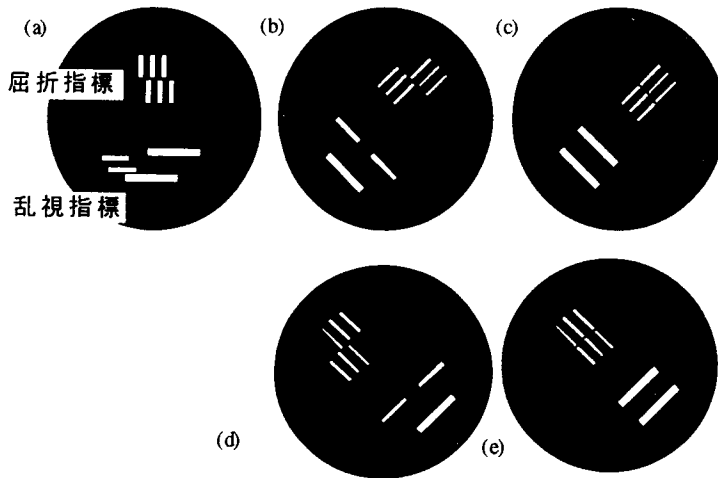


図14 合致式レフラクトメーターによる屈折検査

ときには乱視指標がずれる。図14 (b) のように乱視指標のずれをなくすように測定経線を変える。これで主経線の方位が決定される。あとは、この主経線での屈折を屈折指標を合致させることにより測定すればよい (c)。この手順を90度回転させた方向で繰り返す (d,e)。被検眼を調節弛緩させるための機構は持たないのが普通であり、被検者は漫然と遠方を見るように指示されるが、眼前に器械のあるため得られる結果は過矯正となりやすい。特に小児の検査を行なうときには、調節麻痺剤が使用される。最近では赤外光を利用した自動化されたレフラクトメーターが多く市販されている。これらの機器では、自動雲霧を行なう工夫がされている。

### 5.3 自覚的屈折検査と視力検査

視力表や乱視表と検眼レンズセット及び眼鏡試験枠を用いて検査を行なう。まず、球面値の概略を求め、つぎに乱視を測定し、さらに球面値の補正を行なう。球面値の測定は、他覚的屈折検査の結果が分かっているときには、その値より1~2 D凸よりのレンズから検査を開始し、レンズを次第に凹よりに交換しながら視力を測定し、最高視力を得るもっとも凸よりの値を採用する。他覚検査の結果が不明の時には、弱度の凸および凹レンズを

装用して視力を測定し、裸眼視力と比較することにより、近視遠視正視の区別をする。この場合、たとえ裸眼視力が良くとも弱度の凸レンズで視力が低下しない時には遠視がある。その後、視力が低下すると思われるところから1~2 D凸よりのレンズから検査を開始し、球面値を決定する。乱視の自覚的検査には二つの方法がある。第一の方法は放射線乱視表 (図15) と円柱レンズを用いる方法である。先に測定した球面値よりも他覚検査で得られた柱面値の1/2以上凸よりの球面レンズを装用する。この状態で乱視表を見させると弱主経線方向が明瞭に、強主経線方向がぼけて見える。そこで、ぼけている強主経線方向に軸を一致させて凹円柱レンズを付加し、各放射線が一様に見える凹円柱レンズのパワーにより乱視量を決定する。第二の方法は、クロスシリンダーを用いる方法である。

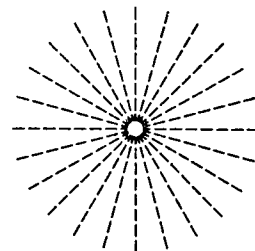


図15 放射線乱視表

クロスシリンダーは、その軸が直交した凸と凹の円柱レンズが組み合わさったものである。この場合、視標は点群視標などが見やすい。今度は、先に測定した球面值どうりのレンズを装用させ、眼前にクロスシリンダーを付加し、軸を逆転させ、その前後で見え方を比較させる。逆転の前後で見え方が変化しない時のクロスシリンダーの軸と45度をなす方向（クロスシリンダーの棒の方向）が円柱レンズの軸である。さらに、この軸に一致させて円柱レンズを置き、クロスシリンダーの軸も一致させ逆転して見る。逆転の前後で見え方が変化しない円柱レンズを捜すことにより乱視量が決定される。このあと、レッド・グリーンテストと呼ばれる検査等により球面值の補正を行ない、自覚的屈折検査が完了する。

自覚的屈折検査終了時には、検眼枠に適切な検眼レンズが入っているのであるから、この状態で視力測定を行なう。その結果は、視力=0.6(1.0 x sph. -2.0 D ⊂ cyl. -1.0 D, axis 90°)のように記す。等号の後が裸眼視力、カッコの中最初の数字が矯正視力、x は単に掛けることを示す記号で、どのようなレンズを掛けた時にこの矯正視力が得られたかを記す。⊂は、重ねて掛けることを示す記号である。

#### 5.4 調節検査

生理的病的を問わず、調節力低下が考えられるときには、近方視力の測定を行なう。遠方視での完全矯正のまま近方視力の測定を行なうと、調節力が低下していれば近方視力も低下する。

遠方視完全矯正の状態、遠方視力表を見ながら、眼前に凹レンズを徐々に付加していく。いわゆる過矯正の状態になるが、調節ができる範囲内ではぼけることはない。どの程度の凹レンズではぼけ始めるかを自覚的に調べれば、調節力が求められる。屈折測定により、調節遠点は分かっているので調節近点も

求められる。この方法を、マイナスレンズ法という。

小さな視標がハンドルをまわすことにより、あるいはモーターで徐々に被検眼に近くような装置がある。被検者は、近づいてくる視標がぼけ始めたら合図をする。このぼけ始める位置の目盛りを読むことにより、調節近点が測定される。このような方法をプッシュアップ法といい、装置を調節近点計という。

以上は、自覚的に行なう調節検査である。最近では、他覚的に調節状態を測定する装置も利用され始めた。

## 6. 眼鏡とコンタクトレンズ

### 6.1 眼鏡処方

眼鏡の処方のためには、球面值チェックのためのレッドグリーンテスト、乱視チェックのためのクロスシリンダーテストを含めた正しい屈折検査はもちろん不可欠である。しかし、それだけでは充分ではない。両眼視状態での屈折は、単眼ずつの屈折測定のみからはおしはかれない要素が多々ある。簡単などころでは瞳孔間距離の測定、斜視や斜位など眼位の検査、立体視など両眼視機能検査、両眼の調節が同量行なわれているという保証はないので両眼調節バランス検査、などが必要とされる。

なお、すでにできあがっている眼鏡から処方を読み取る器械として、レンズメーターがある。

### 6.2 コンタクトレンズ

コンタクトレンズの長所は、眼球に密着しているため眼鏡とは異なり、不等像視の原因となる像の倍率が1に近いこと、眼鏡のような視野を制限する枠のないこと、眼球運動時に眼球と一緒に動くため眼鏡の周辺を通して見た時のような像の劣化がないこと、などがあげられる。短所は、最近では材質の改良が

進んではいるが、あくまでも生体にとって異物であり、長時間の装用により角膜に障害が起こる可能性のあることであろう。

なお、通常の屈折検査機器では眼前12 mmに置くことになっている眼鏡レンズのパワー P (D) が表示される。この表示から、コンタクトレンズのパワー P' (D) を求める換算式は、

$$P'=1/(1/P-0.012)$$

で表わされる。

### 6.3 眼内レンズ

白内障などによる水晶体摘出を行なった後には一般に強い遠視化が起こるので、術後は強い凸レンズあるいは凸のコンタクトレンズを使用しなければならない。この場合、水晶体摘出が一眼のみの場合、眼鏡では強い不等像視が起こる。コンタクトレンズは着脱が不便である。このため、最近では眼内レンズ（人工水晶体）がよく用いられるようになった。

<付録>

## ISO 8596 概要

Visual acuity testing, Standard optotype and its presentation (詳細は原文参照のこと)

### 1. 目的

昼光下での遠方視力の測定：

certification or licensure

医学的な利用を目的にしてない。

### 2. 関連資料：ISO 8597

### 3. 標準視標

ランドルト環

visual acuity grade 1: 外径 5',

線幅・切れ目 1'

8方向、結果は使用した器械と視標の種類を明記しなければならない。

### 4. visual acuity grade and standard optotype grades

対数的、隣接の大きさの比は  $10\sqrt{10}$   
=1.2589、表参照

0.05, 0.06, 0.08, 2.0 省略可能、別の段階を追加してもよい

### 5. 試験領域、視標間の距離

試験領域：視標の外側から0.5度以上  
間隔：

0.05以下 切れ目の2倍

0.06-0.125 環の直径

0.16-0.32 直径の1.5倍

0.4-1.0 2倍

1.0より大 3倍

背景は色・模様なし、均一な明るさ

視標を回転する場合は、被験者が気づかないように

### 6. definition

近く(1/3の距離)で見えてきれいであること

器械に内蔵されたものは3倍で観察

### 7. 表示

7-1 視標の位置、50%は水平か垂直、ランダム

7-2 視距離：最小4 m、記録すること

7-3 決定

各グレイド5, 8, 10回が望ましい。3/5, 5/8, 6/10当たればよい。

### 8. 輝度

試験領域輝度：80-320 cd/m<sup>2</sup>

周囲の輝度：

10度内 試験領域の1/10以上、1/4 以下

10度外 試験領域の1/10以上、

10度内の輝度以下

コントラスト：

視標輝度は試験領域の輝度の15%以内

(室内の照明も含む)

直接、間接グレアがあってはならない。

色温度が2500

K から7000 Kの

白色光源

表:視力段階(ISO)

Log gap size	Visual Acuity
+1.3	0.05
+1.2	0.063
+1.1	0.08
+1.0	0.1
+0.9	0.125
+0.8	0.16
+0.7	0.2
+0.6	0.25
+0.5	0.32
+0.4	0.4
+0.3	0.5
+0.2	0.63
+0.1	0.8
0	1.0
-0.1	1.25
-0.2	1.6
-0.3	2.0