

# コンタクトレンズにおける眼光学

魚里 博\*

## はじめに

コンタクトレンズ（以下、CL）と眼球光学系の光学概念を正しく理解しておくことは、レンズの処方やそれに必要な諸検査のみならず結果の解釈を誤らないために極めて重要であり、必須の要件である。基本的には幾何光学の知識で十分であるが、最近では、物理（波動）光学の知識が必要なものも登場している。もちろん CL 単体の光学概念も大切であるが、眼球との合成系で矯正することを考えれば、眼球光学系の概念も極めて重要である。

本稿では、CL、眼鏡、矯正手術などの各種屈折矯正法の光学特性に重点を置き、比較検討を行いながらコンタクトレンズにおける眼光学を解説する。

## コンタクトレンズの光学系

CL は極めて薄く小さいレンズであるが、空气中に置かれた CL は何ら通常のレンズと変わらない。この CL は、材質から分類するとハード CL、ソフト CL に分かれ、使用目的からは、近視や遠視

の球面屈折異常矯正用 CL、乱視矯正用 CL、遠近両用 CL などに分かれる<sup>1~3)</sup>。また最近では、長期連続装用可能なものや使い捨て CL も登場している<sup>4)</sup>。

眼鏡レンズは通常、角膜の頂点から前方 12 mm にレンズの後頂点がかかるように装用する。しかし CL は角膜表面上にあるため、両者の装用位置が異なり矯正効率が異なる。いま眼鏡レンズの屈折力（後頂点屈折力）を  $K_S$ 、CL のそれを  $K_{CL}$  とすれば（図 1）、

$$K_{CL} = K_S / (1 - dK_S) \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここで  $d$  は頂間距離 (0.012 m) である。眼鏡と CL の屈折力は同じではなく、近視眼では CL のほうが弱く、遠視眼では強いレンズが必要となる<sup>5,6)</sup>。図 1 で、矯正に必要なレンズの焦点距離は遠点からレンズまでの長さで与えられるが、CL のほうが眼鏡よりも頂間距離分だけ短くなり矯正度数が弱くなることがわかる。また、両者の関係を一覧表にしたものがよくみられるが、頂間距離  $d$  を決めれば (1) 式により一義的に決定される。オートレフラクタメータも、 $d$  の設定値を変えることで CL 度数か眼鏡度数かを選択して表示できるようになっているが、(1) 式に基づいて計算されている。角膜での屈折矯正手術ではその矯正量は、眼鏡の矯正度数とは異なるが、CL とほぼ同じと考えてよい。

## コンタクトレンズと眼の合成光学系<sup>7,8)</sup>

眼に CL を装用した場合の合成光学系を考えよう。CL は角膜上に装用するが、実際には CL の前後には涙液層ができており、CL-涙液レンズ-角膜の光学系が形成される（図 2）。特に後部の涙液層では、CL の後面曲率半径と角膜表面の曲率半径

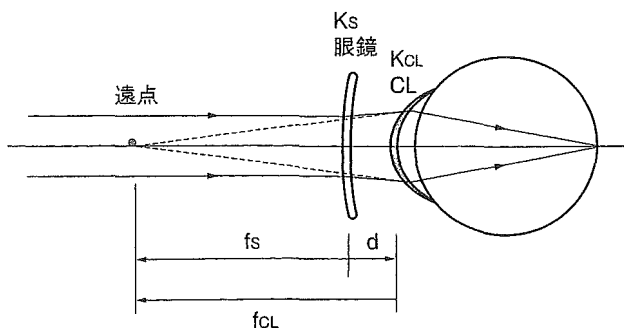


図 1 コンタクトレンズと眼鏡レンズの矯正効果の相違

\* うおざと・ひろし 北里大学医療衛生学部  
別刷請求先：魚里 博 〒228-8555 相模原市北里 1-15-1 北里大学医療衛生学部

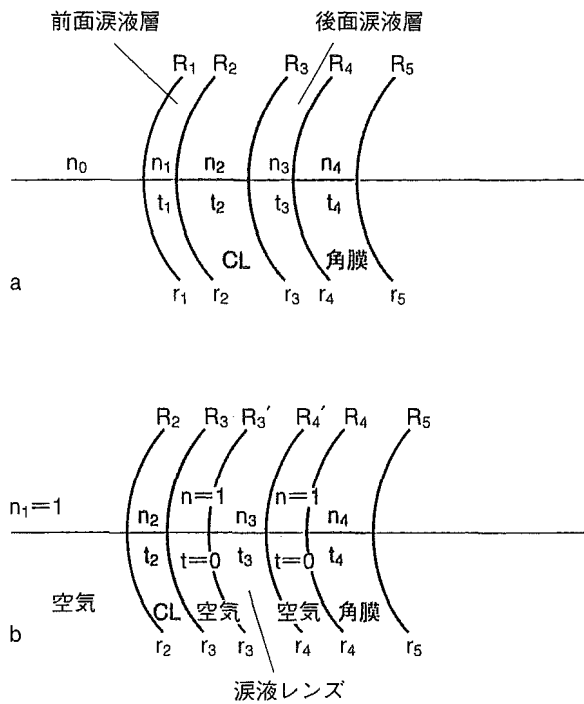


図 2 コンタクトレンズの光学系

- a : コンタクトレンズを装用した際の合成光学系, 涙液-CL-涙液-角膜。
- b : 涙液-CL, 涙液-角膜間に厚さゼロの空気層を用いる合成光学系で計算に使用。

が同じでなければ屈折力を有する涙液レンズが形成される。そのため、屈折異常矯正に用いる CL の後面曲率半径は角膜の表面曲率半径とほぼ同じでなければならない。CL の厚みは薄いほど異物感が少ない。CL 材料の屈折率が決まるとレンズの前面の曲率半径は矯正度数によって一義的に決まってしまう。

CL+角膜の合成光学系を考える場合、図 2a のように、空気-涙液層-CL-涙液層-角膜-前房の順に屈折の法則を適用すればよい。それぞれの境界面での屈折力を  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  とすれば、CL+角膜系の合成屈折力  $R_T$  は、

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \dots\dots\dots (2)$$

$$= \{(n_1 - n_0)/r_{01}\} + \{(n_2 - n_1)/r_{12}\} + \{(n_3 - n_2)/r_{23}\} + \{(n_4 - n_3)/r_{34}\} + \{(n_5 - n_4)/r_{45}\} \dots\dots\dots (2')$$

で近似的に求めることができる。各境界面の厚み補正による項は簡単化のために無視してある。ここで、CL の前後にある涙液層が極めて薄く一般的な厚みであるとする、図 2b に示すように、各境界面に無限に薄い空気層を考えても等価になる。CL 前面にある涙液層の屈折力は前後面で打

ち消されるため、無視することができる。また CL 後面の涙液層も、CL の後面と角膜前面の曲率半径が等しければ、この涙液層の効果も無視することができる。

$$R_T = (R_{01} + R_{10}) + (R_{02} + R_{20}) + (R_{03} + R_{30}) + (R_{04} + R_{45}) \dots\dots\dots (3)$$

$$= \{(n_1 - n_0)/r_{01} + (n_0 - n_1)/r_{10}\} + \{(n_2 - n_0)/r_{02} + (n_0 - n_1)/r_{20}\} + \{(n_3 - n_0)/r_{03} + (n_0 - n_3)/r_{30}\} + \{(n_4 - n_0)/r_{04} + (n_5 - n_4)/r_{45}\} \dots\dots\dots (3')$$

ところで、通常第 1 項の  $R_{01} + R_{10}$  (CL 前面にある空気中の涙液層のレンズ効果) = 0 であり、また涙液層の厚みが極めて薄いため、 $r_{01} = r_{10} = r_{02}$  (涙液前後面と角膜前面の曲率半径はほぼ等しい)、 $r_{20} = r_{03} = r_{30} = r_{04}$  (CL の後面と角膜前面およびその間の涙液層の前後面曲率半径はほぼ等しい) と考えることができる。

$$R_T = (R_{02} + R_{20}) + (R_{03} + R_{30}) + (R_{04} + R_{45}) \dots (4)$$

で考えればよい。また角膜前面の形状と CL の後面形状が等しければ、上式の第 2 項 ( $R_{03} + R_{30}$ ) もゼロに近似できるため、

$$R_T = (R_{02} + R_{20}) + (R_{04} + R_{45}) \dots\dots\dots (5)$$

$$= \{(n_2 - n_0)/r_{02}\} + \{(n_0 - n_2)/r_{20}\} + \{(n_4 - n_0)/r_{04}\} + \{(n_5 - n_4)/r_{45}\} \dots\dots (5')$$

つまり、CL+角膜合成系の屈折力は、空気中での CL 屈折力と角膜屈折力の和であると考えて差し支えない。

涙液レンズの効果

角膜乱視のある眼に球面 CL で矯正する場合には、角膜表面形状と矯正する CL 後面形状が一致しない場合には、(4) 式での第 2 項が無視できなくなる。CL と角膜間の涙液層のレンズ効果は、

$$R_{TF} = R_{03} + R_{30} \dots\dots\dots (6)$$

$$= \{(n_3 - n_0)/r_{03}\} + \{(n_0 - n_3)/r_{30}\} \dots\dots (6')$$

で計算できる。ただし、 $r_{03}$  は CL の後面曲率半径 (ベースカーブ)、 $r_{30}$  は角膜前面の曲率半径である。角膜乱視のある眼に球面 CL で矯正する場合は、乱視の強弱主経線それぞれ計算すれば球面レンズ効果と乱視効果を求めることができる<sup>7,8)</sup>。

コンタクトレンズの屈折力<sup>7)</sup>

CLの前面と後面の曲率半径を  $r_2 (=r_{02})$ ,  $r_3 (=r_{20})$ , 所望の屈折力を  $D$ , 厚さを  $t_2$ , 材質の屈折率を  $n_2$  とすれば, 空气中 ( $n_0=1$ ) に置かれた CL の前面と後面の屈折力はそれぞれ,

$$D_2 = n_2 - 1/r_2 \dots\dots\dots (7)$$

$$D_3 = 1 - n_2/r_3 \dots\dots\dots (8)$$

で与えられ, CL の屈折力  $D$  は次式で与えられる。

$$D = D_2 + D_3 - (t_2/n_2)D_2D_3 \dots\dots\dots (9)$$

CL 前面の屈折力  $D_2$  は,

$$D_2 = D - \{D_3 / [1 - (t_2/n_2)D_3]\} \dots\dots\dots (10)$$

であるから,

$$r_2 = \{1 - (t_2/n_2)D_3\} (n_2 - 1) / (D - D_3) \dots\dots (11)$$

より CL の前面曲率半径が求められる<sup>7)</sup>。ただし, CL の後面曲率半径と角膜表面のそれが同じでなければ, 涙液レンズによる屈折力が生じるため, これを考慮しなければならない。もちろん  $r_3$  と  $r_4$  が等しくともアフォーカルレンズの条件を満足していないので涙液レンズの屈折力を生じるが, レンズの厚みがきわめて薄いため, 臨床的にはこれを無視することができる。

角膜の形状

CL 矯正や角膜屈折矯正手術では, あらかじめ角膜の形状が判明していなければならない。従来, 角膜曲率計 (ケラトメーター) と呼ばれるもので, 角膜中央部 (約 3 mm 径) の曲率半径あるいは角膜屈折力が測定される。最近では角膜のより周辺部まで測定できる各種の角膜形状解析装置が登場し, 角膜の広範囲にわたるトポグラフィが測定できるようになっている。角膜の形状は単純な球面ではなく, 中央部よりも周辺部が平坦な非球面形状である。また, 正常眼でも経線方向による曲率の相違があり, いわゆる角膜乱視が認められる。角膜の中央部はほぼ球面あるいはトーリック面と考えるとよいが, 周辺部はかなり異なる。そのため, 角膜の形状をコノコイド曲線や多項式を用いてその非球面を表現することもある。したがって, CL の後面曲率半径 (ベースカーブという) が球面であるレンズを非球面あるいは乱視のある眼に装用すれば, 涙液レンズは何らかの屈折力を有することになる。

曲率, 曲率半径と屈折力

曲率 (curvature) とは曲線や曲面の曲がりの程度を表すもの, また, 曲率半径 (radius of curvature) は, 曲線や曲面の曲がりの程度を円周の一部と見なして, その円の半径で表したものである。曲率半径の逆数を曲率という。

数学上の定義は, 一定点から測った曲線の長さ  $s$  で曲線上の点を表し,  $\Delta s$  だけ離れた 2 点  $P (s)$ ,  $P' (s + \Delta s)$  での接線間の角を  $\Delta \omega$  とすると,  $\Delta \omega / \Delta s$  の  $\Delta s \rightarrow 0$  の極限值  $d\omega/ds$  を  $P$  点での曲率といい, その逆数を曲率半径という。

CL 関係や角膜形状関係でも, この曲率と曲率半径を混同している場合が多く見受けられる。曲率と曲率半径は逆数関係にあり, 大小関係が逆の表現となるので注意が必要である。

曲率半径  $r$  の曲面で空気と CL の界面を考えよう。空気と CL の屈折率を  $n_0, n_1$  とする。光が空気から CL へ屈折して進む際に, その面で生じる屈折力 (面屈折力) は,

$$K = (1/r) (n_1 - n_0) \dots\dots\dots (12)$$

$$= R (n_1 - n_0) \dots\dots\dots (12')$$

で求められる。ただし,  $R$  は  $(1/r)$  で界面の曲率である。面屈折力は曲率  $R$  と屈折率差 ( $n_1 - n_0$ ) に比例する。ただし,  $r$  にメートル単位の数値を採れば,  $R$  および  $K$  は  $[1/m]$  つまりジオプター単位となり, レンズ屈折力の単位と一致する。つまり, 屈折力は曲率半径に逆比例し, 曲率に比例する。曲率半径が小さくなれば, その逆数の曲率は大きくなり, 屈折力も大きくなる。

角膜の屈折力と曲率半径<sup>7~9)</sup>

角膜の形状は, 通常ケラトメータやビデオケラトスコープ (角膜トポグラフィ) で臨床的に測定できる。これらの装置で直接測定しているものは, 角膜前面の曲率半径 (ほんとうは涙液表面の曲率半径であるが, 涙液層の厚みが極めて小さくて厚みが一樣と考えられるので角膜表面の曲率半径を実測していると考えている) である。角膜乱視や角膜屈折力の値は, 角膜前面の曲率半径から算出されるものである。

この目的のために, 用いられている角膜の換算屈折率  $n_e$  には, 1.332 から 1.3375 程度までメー

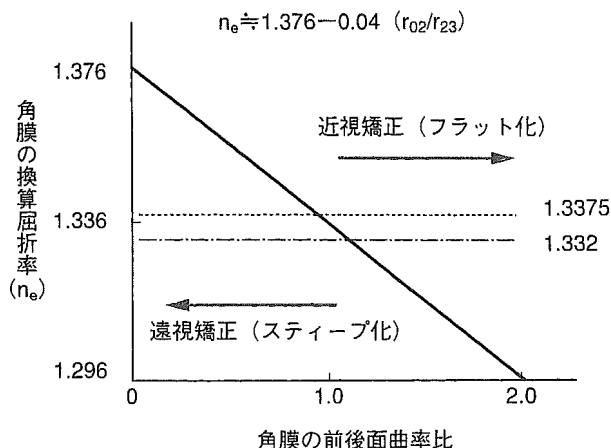


図3 角膜の曲率比(前後面)と換算屈折率の関係  
 $r$ : 角膜曲率半径 ( $r_{02}$ : 前面,  $r_{23}$ : 後面),  $n_e$ : 角膜換算屈折率。

カーにより異なっている。現在の市販装置の多くは  $n_e=1.3375$  の値を採用しており、角膜表面曲率半径  $r$  から角膜屈折力  $K$  の算出には、

$$K = (n_e - 1.0) / r \dots\dots\dots (13)$$

$$= (1.3375 - 1.0) / r \text{ (r in meter)} \dots\dots\dots (13')$$

あるいは

$$K = 337.5 / r \text{ (r in mm)} \dots\dots\dots (14)$$

が用いられている。角膜の  $K$  値が 45.00D であっても、メーカーによっては曲率半径  $r$  が換算屈折率の相違のために、7.38 mm (1.332), 7.47 mm (1.336), 7.50 mm (1.3375) 程度相違することになる。CL のフィッティングや角膜屈折矯正手術時には注意が必要である。

### 角膜の換算屈折率<sup>9)</sup>

角膜表面の曲率半径  $r$  から角膜全体の屈折力  $K_T$  を推定するために換算屈折率  $n_e$  が使われている。言い換えれば、角膜を無限小に薄い屈折面を考えた場合(略式模型眼)に相当する。式(5)および(13)の結果から、換算屈折率を計算すれば近似的に、

$$n_e = n_2 - (n_2 - n_3) (r_{02} / r_{23}) \dots\dots\dots (15)$$

$$= 1.376 - 0.04 (r_{02} / r_{23}) \dots\dots\dots (16)$$

となる<sup>9)</sup>。この近似式では、角膜レンズの厚みの補正項は無視している。角膜の換算屈折率は角膜の前後面曲率半径の比に依存することが明らかである(図3)。グルストランドの精密模型眼の値を用いれば ( $r_{02}=7.7$  mm,  $r_{23}=6.8$  mm), 上式で  $n_e$  は 1.331 程度、厳密な解では 1.3315 となる。

角膜後面の臨床実測が難しいことから、角膜表面の曲率半径から角膜屈折力を算出することは臨床的に許容できうるが、(16)式から予想されるように、角膜の前後面が標準的な眼ではほぼ正しい角膜屈折力が予測可能である。しかし、これより大幅に異なる場合(矯正手術の術後や、大きな角膜乱視がある場合や円錐角膜のような場合には、通常の 1.3375 の換算屈折率は適用できないことに十分留意されたい。

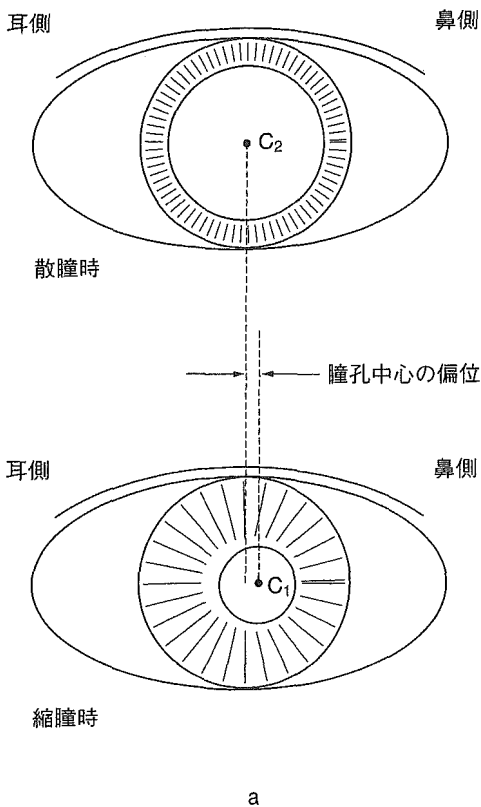
矯正手術の角膜面での矯正量や大きな角膜乱視を正しく評価するには、角膜実質の屈折率(1.376)で評価しなければ過小評価される。計算の結果、この屈折率に起因する過小評価の程度は、 $337.5 / 376 = 0.8976$  (約 89.8%) 程度に見積もられる。

以上のような換算屈折率の問題点は、最近の角膜前後面を評価できる角膜全形状解析装置(オーブスキャン<sup>TM</sup>)などの登場で解決されつつある。従来のように角膜の前面のみの測定から角膜換算屈折率の仮定値を用いずとも、角膜の前後面と厚みを考慮した全屈折力や角膜乱視をより正確に評価できる。

このことは、角膜屈折矯正手術時に重要であるとともに、その後の白内障手術で眼内レンズ(IOL)度数予測を行う場合にも大きな問題となる。従来法では  $K$  値(角膜屈折力)を過大評価し、その結果 IOL 度数を過小に予測して術後遠視を招くことが極めて多くなる。ケラトメータや角膜形状解析装置でも矯正手術後の  $K$  値には注意が必要である<sup>9~11)</sup>。

### 瞳孔の影響<sup>7,8)</sup>

ハード CL は角膜への酸素供給を涙液交換で行うため、レンズは比較的小さくて角膜上で動くことが要求される。一方ソフト系のレンズでは、含水率や酸素透過性が良好であれば動きはあまり要求されなくてレンズの径も大きくてよい。しかし、眼の瞳孔は角膜(あるいは眼)の光軸上にあるのではなくわずかに偏心しており、また明るさにより瞳孔径が変化するが、その変化は同心円状に縮瞳あるいは散瞳するのではなく偏心を伴う。縮瞳時には瞳孔の中心が鼻側にずれ、散瞳とともに耳側にずれて角膜の幾何学中心に近づく<sup>7,8)</sup>(図4)。このような CL+眼の光学系は共軸系ではなく非



(mm, mean±SD)

瞳孔状態	KP	PL	KL
縮瞳時	0.38±0.14	0.25±0.13	0.43±0.19
自然瞳孔	0.31±0.11	0.23±0.12	0.41±0.17
散瞳時	0.26±0.14	0.31±0.16	0.39±0.16

L : center of light reflex, K : center of cornea, P : center of pupil.

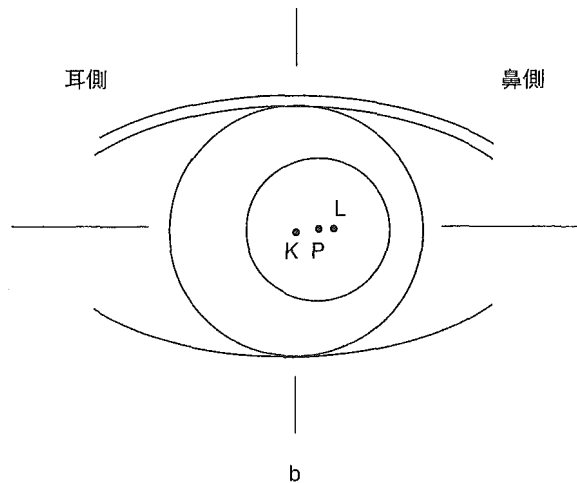


図 4 縮瞳・散瞳に伴う瞳孔中心の偏位

- a : 散瞳すると瞳孔の中心は角膜の幾何学中心に近づき、縮瞳すると瞳孔中心は鼻側へ偏位する。
- b : 各種瞳孔状態による瞳孔中心の偏位の測定結果、および瞳孔中心 (P)、角膜の幾何学中心 (K) および角膜反射像位置 (L) の相対関係の模式図。

共軸の光学系となる。多焦点 CL (もちろん眼内レンズや屈折矯正手術でも問題となる) では、これに対する配慮が必要となる。また、虹彩付きカラー CL でも、装用者の瞳孔の偏心の程度や縮瞳-散瞳間での瞳孔中心の偏心の程度はあらかじめ評価しておくべきである。

また、屈折矯正手術や眼内レンズ挿入術でも角膜のセンタリングは極めて重要であり、角膜の幾何学中心ではなく、瞳孔 (厳密には、入射瞳) 中心に行くことが、術後視機能の観点からも大切である<sup>10~12)</sup>。

#### 網膜像の拡大・縮小<sup>5)</sup>

屈折異常を眼鏡や CL で矯正すると、網膜像の大きさが変化する。未矯正下と矯正下の網膜像の大きさを比較したものを眼鏡倍率 (spectacle magnification : SM) と呼び、標準的な正視眼の網膜像と矯正下のそれを比較したものを相対眼鏡倍率

(relative spectacle magnification : RSM) という。

#### 1. 眼鏡倍率

遠見視標に対して、未矯正眼の網膜像は近視眼でぼけているが、遠視眼では調節により鮮明な像となる。しかし、これらの屈折異常眼の前に眼鏡や CL で矯正すれば、網膜像の基本的な大きさは変化する。この効果を眼鏡倍率と呼ぶ。これは未矯正眼の網膜像と矯正眼での網膜像の大きさの比で定義される。

遠見での SM は次の 2 つの積で与えられる。1 つは「power factor」と呼ばれるもので、レンズの後頂点屈折力とその眼から矯正レンズまでの距離に依存する。もう 1 つは「shape factor」と呼ばれるもので、レンズの前面屈折力とレンズの等価厚み (レンズの厚みをその屈折率で除したもの) に依存する。

#### 1) Power factor

Power factor はレンズが無限に薄いとき、レンズの SM となる。図 5 に示すように、後頂点屈折

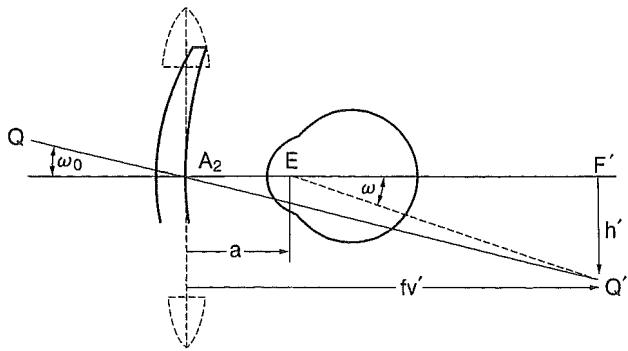


図 5 眼鏡倍率における power factor

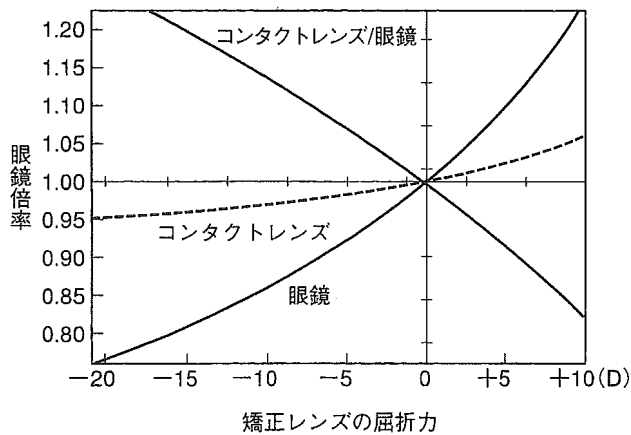


図 7 コンタクトレンズと眼鏡矯正による眼鏡倍率の相違

力  $Fv'$  (後頂点焦点距離  $fv' = \frac{1}{Fv'}$ ) のレンズを考え、仮にそのレンズの中心厚みを無視してこの  $Fv'$  と等しい屈折力を有する薄肉レンズが後頂点位置にあるものとする。このレンズは入射瞳 E から  $a$  の距離にある。点 Q は光軸上にある無限遠方の物点で、微小角  $\omega_0$  の大きさとする。この Q の像はレンズによりレンズの像側焦点面  $F'$  上の  $Q'$  にでき、その光軸からの距離を  $h'$  とすれば、 $\tan \omega_0 \approx \omega_0$  であるから、

$$\omega_0 = -h'/fv' \quad (17)$$

そして、この像  $F'Q'$  は眼光学系の虚物体となり、入射瞳面に対して  $\omega$  の角をなすので、

$$\omega = -h'/(fv' - a) \quad (18)$$

となる。網膜像の基本的な大きさは、入射瞳面からの物体のなす角度に直接比例するので、power factor (P) は、 $\omega$  と  $\omega_0$  の比で与えられ、

$$P = \omega/\omega_0 = fv'/(fv' - a) = 1/(1 - a \cdot Fv') \quad (19)$$

となる<sup>5)</sup>。

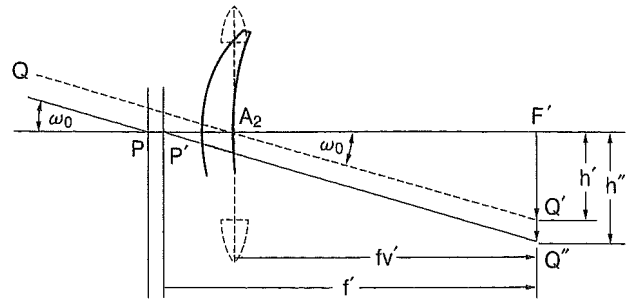


図 6 眼鏡倍率における shape factor

## 2) Shape factor

任意の距離にある物体に対して、レンズまたは光学系で形成される像の大きさはその主焦点距離に比例する。つまり主点屈折力に逆比例する。Power factor を導くのに、実際のレンズ後頂点に位置する薄肉レンズを仮想的に考えた。図 6 に示すように、この仮想的な薄肉レンズにより形成される像の高さ  $h'$  は、

$$h' = \omega_0 / Fv' \quad (20)$$

となる。しかし、現実のレンズでは、像はその主点  $P, P'$  を通る共役な光線で決定され、これらの光線の光軸となす角度を  $\omega_0$  とする。 $P'F'$  は主焦点距離  $f'$  であるから、

$$h' = -\omega_0 / F \quad (21)$$

ここで、 $F$  はレンズの主点屈折力である。ところで、shape factor は、現実のレンズによる像と仮想的な薄肉レンズによる像の大きさの比であるから、

$$S = h''/h' = Fv'/F \quad (22)$$

ところで、後頂点屈折力  $Fv'$  は、

$$Fv' = F / \{1 - (t/n) \cdot F_1\} \quad (23)$$

ただし、 $F_1$  はレンズ前面の屈折力、 $t$  はレンズの中心厚み、 $n$  はレンズの屈折率である。したがって、shape factor  $S$  は、

$$S = Fv'/F = 1 / \{1 - (t/n) \cdot F_1\} \quad (24)$$

で与えられる<sup>5)</sup>。この  $S$  はレンズの第 1 面が凸面 (つまり  $F_1$  が正) であるすべてのレンズで 1 より大きくなる。

## 3) 眼鏡倍率の代表的な値

遠見時の眼鏡倍率  $SM$  は、(19) および (24) 式から、

$$SM = PxS = \{1 / (1 - a \cdot Fv')\} \cdot \{1 / \{1 - (t/n) \cdot F_1\}\} \quad (25)$$

となる。図7に眼鏡とCLの眼鏡倍率の計算結果を図示した。ただし、レンズ後頂点から入射瞳面までの距離  $a$  は 16 mm を仮定した。

4) 近見時の眼鏡倍率

近見時の SM は、遠見時の SM に proximity factor (近接項) を掛けた値で求めることができる。しかし一般にはこの近接項は 1 に極めて近い値であり、特に CL の場合には、ほとんど無視することができる。

2. 相対眼鏡倍率<sup>5)</sup>

標準的な正視眼の網膜像の大きさと矯正眼の網膜像の大きさの比で定義されるものを相対眼鏡倍率 (relative spectacle magnification : RSM) という。

ここでは、2つの鮮明な網膜像を比較するので、遠見物体の網膜像がその主点屈折力に逆比例するという原則が利用できる。ここで  $F_0$  を標準的な正視眼の主点屈折力、 $F'v$  を遠用の矯正レンズ屈折力 (薄肉レンズを仮定)、 $d$  をレンズから眼の主点までの距離、 $F_e$  を非正視眼の主点屈折力、 $F$  を非正視眼と矯正レンズを含む合成系の主点屈折力とすれば、

$$F = F'v + F_e - d \cdot F'v \cdot F_e \quad \dots\dots\dots (26)$$

であるから、RSM は、

$$RSM = F_0 / F = F_0 / (F'v + F_e - d \cdot F'v \cdot F_e) \quad \dots\dots\dots (27)$$

となる。

レンズの形状と厚みを考慮に入れるには、shape factor (24) 式を (27) 式に掛けなければならない。RSM は考えている眼の主点屈折力  $F_e$  の値を指定しなければ評価できない。標準的な正視眼の物側焦点距離は角膜頂点から約 15 mm であり、この値は矯正レンズの後頂点位置に極めて近い。仮にこの値が一致しているならば、 $d = -f_e = 1/F_e$  であるから、(37) 式は単純に、

$$RSM = F_0 / F_e \quad \dots\dots\dots (28)$$

のように表せる。

ここで、考えている眼が標準的な屈折力 (この場合、 $F_e = F_0$  で、非正視眼は標準的な眼軸長からはずれている、いわゆる軸性屈折異常眼である) を有し、かつ shape factor (S) を無視すれば、RSM は 1 となる (図 8)。この結果は、Knapp の法則としてよく知られており、「眼の物側焦点位置に置かれた眼鏡では、その網膜像の大きさが不変」とい

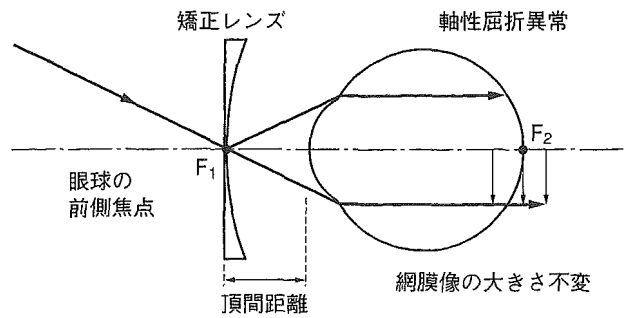


図 8 ナップの法則 (Knapp's rule) の成立条件

う誤った解釈で、しばしば間違っ引用されている。これは RSM と SM を混乱させ、かつ Knapp の法則の基になっている仮定を無視しているためにほかならない<sup>5)</sup>。

RSM の主要な興味は、不同視 (anisometropia) における左右網膜像の不等性の予測にあるが、必ずしも臨床的なものではない。なぜなら、眼の主点屈折力は厄介な実験的な手段でのみ正確に求められるが、ケラトメータは単に両眼の角膜屈折力の差を与えるのみである。両眼の主点屈折力が角膜とほぼ同様に異なると仮定することは妥当であるから、この仮定に基づいて、近似的な主点屈折力 ( $F_e$ ) が両眼で評価できれば、RSM は (32) 式より計算できる。また屈折異常の局在が単に軸性か屈折性のみによる場合には、以下のように比較的簡単な取り扱いが可能となる<sup>5)</sup>。

1) 軸性屈折異常眼

純粋に軸性のみによる屈折異常眼では、その主点屈折力  $F_e$  は標準的な正視眼の主点屈折力  $F_0$  に等しいので、(27) 式は次式のように変形できる。

$$RSM_A = F_e / (F'v + F_e - d \cdot F'v \cdot F_e) \quad \dots\dots\dots (29)$$

また、この眼の物側焦点距離は、 $-f = 1/F_e$  であるから、

$$RSM_A = \frac{1}{1 - (f+d) \cdot F'v} \quad \dots\dots\dots (30)$$

となり、 $f+d = -p$  の関係を使えば、

$$RSM_A = 1 / (1 + p \cdot F'v) \quad \dots\dots\dots (31)$$

となる<sup>5)</sup>。ただし、 $p$  は眼の物側焦点からレンズ後頂点までの距離である。

2) 屈折性屈折異常眼

純粋に屈折性のみによる屈折異常眼では、その主点での屈折異常 (主点屈折度) を  $K$  にとすれば、

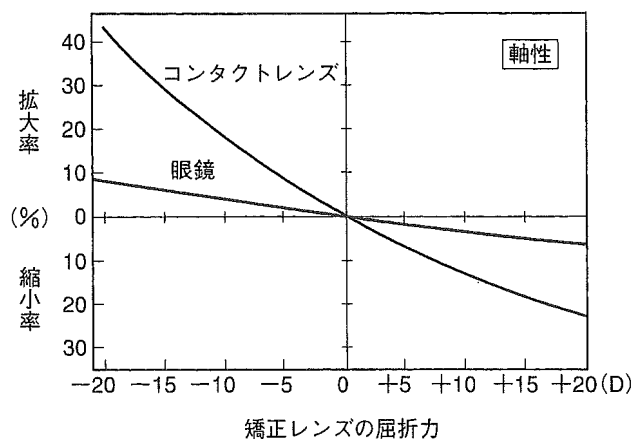


図 9 軸性屈折異常眼での相対眼鏡倍率

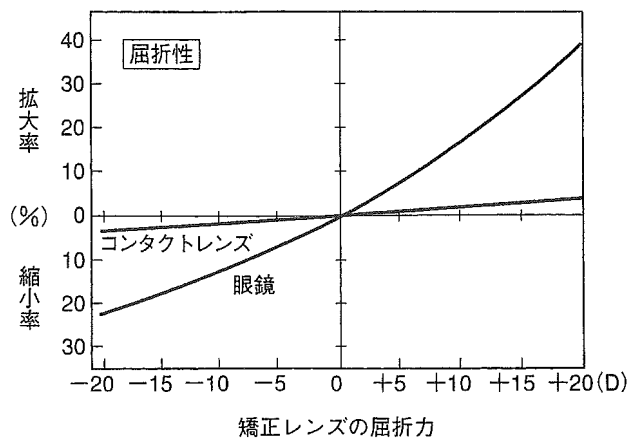


図 10 屈折性屈折異常眼での相対眼鏡倍率

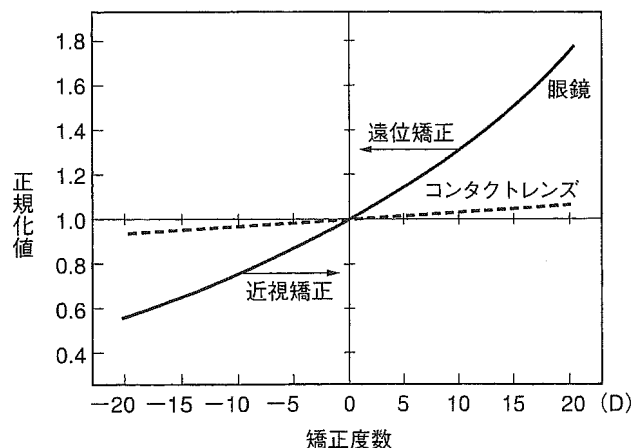


図 11 眼鏡とコンタクトレンズ矯正下での必要調節量の比較  
正視眼と比較した値 (正規化値) で示す。

$F_e = F_o - K$  であり、また  $K$  と  $F'v$  との関係は、

$$K = \frac{F'v}{1 - d \cdot F'v} \dots\dots\dots (32)$$

で与えられるから、(27) 式は、

$$RSM_R = \frac{1}{1 - d \cdot F'v} \dots\dots\dots (33)$$

となる<sup>5)</sup>。ただし、 $d$  はレンズ後頂点から眼の主点までの距離である。

軸性および屈折性の屈折異常眼における相対眼鏡倍率の結果を図 9, 10 に示す。ただし、眼の物側焦点とレンズ後頂点間の距離  $p$  は、3.7 mm (眼鏡) および 15.7 mm (CL) を、またレンズ後頂点から眼の物側焦点までの距離  $d$  は、13.35 mm (眼鏡) および 1.35 mm (CL) を仮定したものである。

近視眼では、軸性の場合に網膜像の拡大が起こるが、拡大率は CL のほうが眼鏡よりも大きくなる。逆に遠視側では縮小率が CL のほうで大きく

なる。また屈折性の場合には近視矯正眼で網膜像の縮小が起こり、遠視矯正眼では拡大を伴うが、CL のほうが眼鏡よりも縮小・拡大の影響は眼鏡よりも少ない。

調節への影響<sup>5,10,11)</sup>

1. 屈折異常矯正と調節

調節力の大小は個人差があるが、ほぼ年齢とともに生理的に減少する。ところで、屈折異常を眼鏡や CL で矯正された眼の調節は、正視眼のそれとはかなり相違するし、また眼の屈折異常の程度によっても異なる。

屈折力  $F_c$  (D) のレンズ (薄肉レンズを仮定) で遠用矯正された屈折異常眼の眼前  $p$  (m) を明視するのに必要な調節量  $X_o$  (D) は、 $P = 1/p$  とおけば、

$$X_o = \frac{-P}{(1 - d \cdot F_c) \{ (1 - d \cdot F_c) - d^2 \cdot P \cdot F_c \}} \dots\dots\dots (34)$$

で与えられ、近似的には次式のようなになる<sup>6)</sup>。

$$X_o \approx -P(1 - d \cdot F_c)^2 \approx -P(1 + 2d \cdot F_c) \dots\dots\dots (35)$$

ただし、 $X_o$  は眼の主点での調節量、つまり ocular accommodation であり、眼鏡面を基準にした spectacle accommodation ( $X_s$ ) とは異なる。眼鏡面と眼の主点位置との距離を  $d$  (m) とすれば、両者の関係は、

$$X_o = \frac{X_s}{\{1 - d (F_c - X_s)\} (1 - d \cdot F_c)} \dots\dots\dots (36)$$

となり<sup>5)</sup>、近視矯正眼では常に  $X_o < X_s$  となり、また正視眼に比較して少ない調節量ですむことにな



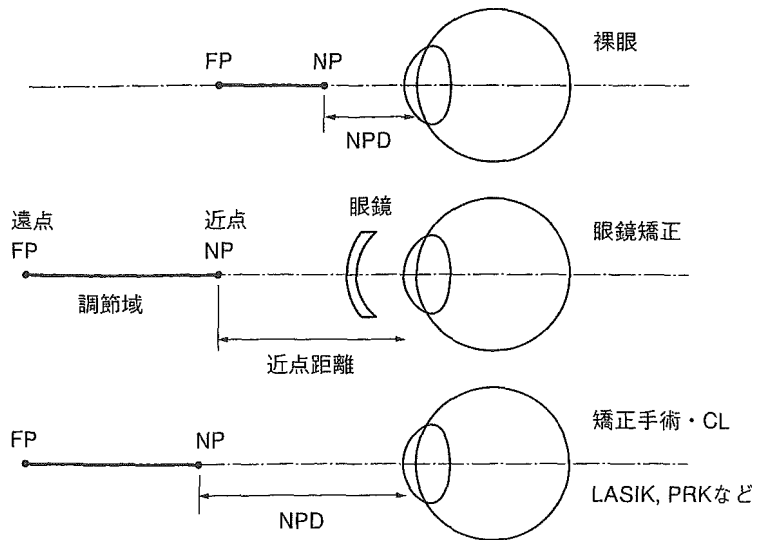


図 12 屈折矯正の違いによる調節域、遠点・近点の相違  
FP：遠点，NP：近点，NPD：近点距離。

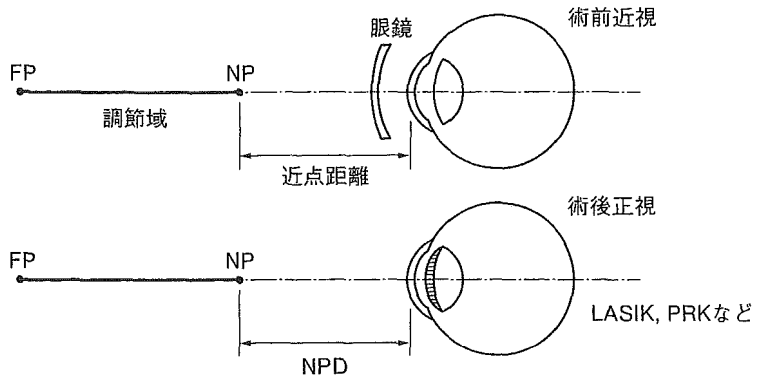


図 13 角膜屈折矯正手術が術後調節に及ぼす影響  
術前の遠点 (FP) と近点 (NP) 間距離、すなわち調節域 (あるいは近点距離 NPD) が術後も同じであれば、角膜屈折力が減少した近視矯正の術後眼は水晶体の屈折力を増加させなければならなくなる。術前後の水晶体調節力が同じであれば、術後の近点 (NP) 位置は必然的に遠ざかることとなる。

る。眼鏡による矯正眼では、この効果は CL による場合よりも大となる。

正視眼と比較した屈折異常矯正眼の必要調節量を図 11 に示す。近視矯正眼で少ない調節ですみ、遠視矯正眼でより多い調節を必要とする。眼鏡と比較して CL 矯正では近視側でより多くの調節が必要で、遠視側で眼鏡より少ない調節ですむことになる<sup>6)</sup>。特に、初老の近視眼で眼鏡装用している者が CL に変更した場合、眼鏡より CL で多くの調節を必要とするため、近くの物が見にくくなり老眼が顕著となるため注意が必要であろう。

## 2. 矯正手術と調節<sup>10,11)</sup>

眼鏡や CL 矯正されている者が屈折矯正手術を受けた場合、術後の調節にはどのようなことが起こるのであろうか。ここでは角膜の屈折矯正手術 (PRK, LASIK, LASEK など) を考えよう。

角膜切除を行う屈折矯正手術では、角膜での屈折力の増減を行っているため基本的には CL 矯正と同様に考えることができる。近視眼の矯正手術

を受けると、術後ほぼ正視になるため、近くが以前よりも見にくくなることは一般的によく知られている。術前眼鏡矯正されていた眼が、角膜屈折矯正手術を受けると、遠点 (FP) は変わらずとも近点 (NP) は遠ざかる (図 12)。これは前述したように、眼鏡矯正の近視眼は正視眼よりも少ない調節で明視できるため、術前の眼鏡矯正時と同じ近点位置まで術後の正視眼で明視しようとすると、水晶体の調節は以前よりもその屈折力を増加させなければならなくなるためである。近視矯正では術後に角膜の屈折力が減少しているため、術前と同じ近点位置に調節しようとするれば、水晶体の調節力を以前にも増して増加させなければならない (図 13)。

術前近視眼が矯正手術後正視に近づけば、術後の調節への負担は増加する。これは術前矯正手段が眼鏡でも CL でも同じことである。眼鏡矯正のほうが影響が大きく CL ではその影響は少ない。一方、術前遠視眼では、矯正手術後に正視に近づ

くと術後の調節負担は少なくなる(図11を参照)。

調節の観点から矯正手術を考えれば、近視矯正は術後の調節負担が増加し近くが見にくくなりやすく、近方視の満足度は低下しやすく注意が必要となる。遠視矯正では術後の調節負担は軽減するため、近方視への満足度は大きいといえる。これらの効果は、術前の眼鏡矯正眼で大きく、術前CL装用者では軽微である。

#### 輻輳の影響<sup>5)</sup>

屈折異常を矯正された眼が輻輳するとき、その矯正方法によっては必要な輻輳量は異なる。特に眼鏡とCLでは大きく異なり、前述の調節と同様に留意すべきである。特に眼鏡矯正ではレンズのプリズム効果による輻輳量への影響は大きいですが、CLでは眼球とともに回旋するので影響は少ない。また、両眼視機能を考えるうえでは、調節と輻輳の両者の影響も大切である。しかし、眼鏡矯正とは異なりCLや角膜屈折手術矯正では、調節や輻輳量はほぼ正視眼並であるため、輻輳調節比もほぼ1に近い値となり影響は少ない。

不同視を矯正する場合、眼鏡では頂間距離の影響で、近下方視にプリズム効果(上下方向の)が発生し厄介な複視を伴うが、CLや角膜屈折矯正手術ではこのような問題は回避できる利点がある。しかし、CL矯正では症例によっては不等像の問題が残存する場合もあるが(相対眼鏡倍率の

項を参照)、屈折矯正手術では不等像や上下方向の眼位の問題は基本的に発生しない特徴がある。これは屈折矯正手術の最大の適応が不同視矯正であるゆえんである。

#### 文献

- 1) Bennett AG: Optics of Contact Lens. Hatton Press, London, 1949
- 2) 保坂明朗: コンタクトレンズの光学的知識. 眼科 Mook No. 2 (コンタクトレンズ). 1-18, 金原出版, 東京, 1978
- 3) 湖崎 克(編): コンタクトレンズの処方と苦情処理. 金原出版, 東京, 1970
- 4) 曲谷久雄: 多焦点コンタクトレンズの現状と未来. あたらしい眼科 7: 999-1008, 1990
- 5) 魚里 博: 近視の光学と眼鏡. 眼科 MOOK No. 34 (近視). 132-148, 金原出版, 東京, 1987
- 6) 西信元嗣(編): 眼光学の基礎. 51-56, 金原出版, 東京, 1991
- 7) 魚里 博: 眼内レンズ/コンタクトレンズの光学系. O plus E No. 167: 77-83, 1993
- 8) 魚里 博: コンタクトレンズの学術, 光学的概念. 湖崎 克・西信元嗣・加藤桂一郎(編): コンタクトレンズ診療最前線. 第2版. 154-167, 金原出版, 東京, 2000
- 9) 魚里 博: 角膜屈折検査における角膜の換算屈折率. 視覚の科学 18: 9-14, 1997
- 10) 魚里 博・清水公也(編著): 屈折矯正のプロセスと実際. 207, 金原出版, 東京, 1988
- 11) 魚里 博: 屈折矯正における眼球光学系と視機能検査. 視覚の科学 22: 66-84, 2001
- 12) Uozato H, Guyton DL: Centering corneal surgical procedures. Am J Ophthalmol 103: 264-275, 1987

MEDICAL BOOK INFORMATION

医学書院

## グラント解剖学図譜 [第4版]

Grant's Atlas of Anatomy, 9th edition

著 Anne M. R. Agur

訳 山下 廣・岸 清・楠 豊和・岸田令次

●A4変型 頁684 2004年

定価12,600円(本体12,000円+税5%)

[ISBN4-260-10076-9]

図譜の見やすさ、わかりやすさで定評ある地位を築いてきた解剖学図譜原書第9版の翻訳。今版はオールカラーとなって登場。ほとんどの図譜が表層から深部へと解剖の段階に沿って新たに描き起こされた。さらにX線写真、CT、MRI画像が充実し、それぞれ対応した断面図も添えられた。細部の仕組みから全体の構造まで初学者にも容易に理解できる。

## 初期白内障における愁訴と高次波面収差

高崎恵理子\*<sup>1</sup> 伊藤美沙絵\*<sup>2</sup> 相澤 大輔\*<sup>1</sup> 藤澤 邦俊  
鈴木 雅信 魚里 博\*<sup>2</sup> 清水 公也\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> 北里大学病院眼科 \*<sup>2</sup> 北里大学医療衛生学部

**要約** 初期白内障における手術希望者の愁訴と高次収差の関係を検討した。初期白内障があり、矯正視力 0.8 以上の 70 例 95 眼を 2 群に分けた。白内障手術を希望する 48 眼と希望しない 47 眼である。平均年齢は、前群 68±9 歳、後群 66±7 歳であった。眼球光学系全体と角膜の波面収差を測定し高次収差を比較した。手術希望群に羞明、霧視、複重視、色異常についてアンケート調査を行い、愁訴を強度と弱度の 2 群に分けて高次収差を比較した。眼球光学系全体の高次収差は、手術希望群 0.272 μm、非希望群 0.201 μm であり有意差があった (p<0.001)。羞明と霧視の強度群では、弱度群よりも眼球光学系全体の高次収差が有意に高かった (p<0.01)。初期白内障での高次収差は手術希望の有無と関連し、愁訴を客観的に評価できる可能性がある。

### Visual disturbance and wavefront aberration in incipient cataract

Eriko Takasaki\*<sup>1</sup> Misae Ito\*<sup>2</sup> Daisuke Aizawa\*<sup>1</sup> Kunitoshi Fujisawa  
Masanobu Suzuki Hiroshi Uozato\*<sup>2</sup> Kimiya Shimizu\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Dept of Ophthalmol, Kitasato Univ Hosp

\*<sup>2</sup> Dept of Orthoptics and Visual Sci, Kitasato Univ Sch of Allied Health Sci

**Abstract. Purpose :** To evaluate visual disturbance as related to higher-order aberrations in patients with intention to surgery for incipient cataract. **Cases and Method :** A total of 95 eyes in 70 patients entered the study. As inclusion criteria, they had incipient cataract and best corrected visual acuity of 0.8 or over. The series comprised 48 eyes with intention to surgery and 47 eyes without. The ages averaged 68±9 years in the former group and 66±7 years in the latter. Ocular and corneal higher-order aberrations were measured. Patients hoping surgery were asked by questionnaire regarding photophobia, hazy vision, diplopia, and dischromatopsia. The severity of subjective symptoms was graded into two groups. **Results :** Ocular higher-order aberration averaged 0.272 μm in patients hoping surgery and 0.201 μm in those hoping no surgery. The difference was significant (p<0.001). Ocular higher-order aberration was significantly higher in the group with severer photophobia and hazy vision (p<0.01). **Conclusion :** Higher-order aberrations in incipient cataract are related with intention for surgery. The higher-order aberrations may be of help to objectively assess visual disturbance.

Rinsho Ganka (Jpn J Clin Ophthalmol) 58(8): 1543-1547, 2004

#### 緒言

波面センサーの開発により、高次収差が簡便に測定可能となり、さまざまに応用されつつある。近年高次収差は加齢により増加することが報告されている<sup>1)</sup>。また、高次収差は視力の質を低下させる要因の 1 つであるとの報告がある<sup>2,3)</sup>。従来白

内障における「見えにくさ」は、主に視力検査で評価されてきた。しかし、実生活ではコントラストの違いも重要であり、視力による視覚の評価だけでは不十分と考えコントラスト感度やアンケート方式による評価が模索されている<sup>4~11)</sup>。これまでのアンケート調査では白内障手術希望理由として羞明感、近方視困難、霧視感などの愁訴が挙げ

別刷請求先：高崎恵理子 (たかさき・えりこ) 〒228-8555 相模原市北里 1-15-1 北里大学病院眼科

Reprints requests to: Eriko Takasaki Department of Ophthalmology, Kitasato University Hospital, 1-15-1 Kitasato Sagami-hara 228-8555, JAPAN

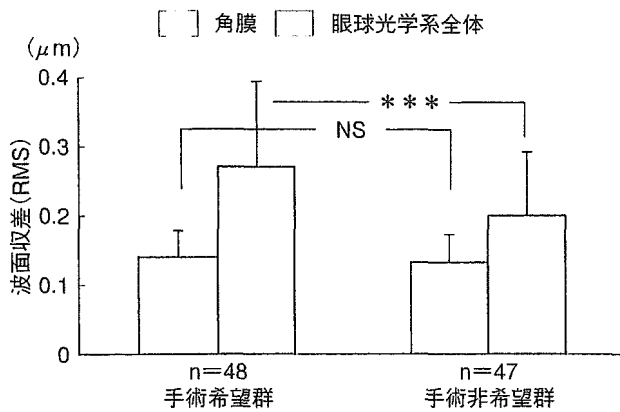


図 1 手術希望群と非希望群の高次収差(S3+S4)の比較 Mann-Whitney の U 検定にて \*\*\* $p < 0.001$ , NS: not significant.

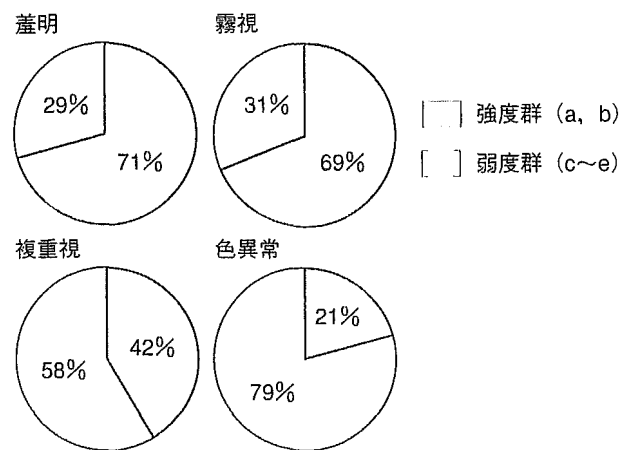


図 2 手術希望群に対するアンケートの結果

られている<sup>10)</sup>。軽度白内障において波面収差の報告がされている<sup>3)</sup>が、これら愁訴と高次収差の関係は報告されてない。

今回、白内障手術希望と高次収差の関係を調べるとともに、愁訴と高次収差の関係について検討したので報告する。

## 対象と方法

### 1. 対象

初期白内障と屈折異常以外に眼科的疾患がなく、収差測定時に瞳孔径 4 mm 以上確保できた 70 例 95 眼を対象とした。そのうち白内障手術希望群は 36 例 48 眼、年齢  $68 \pm 9$  歳 (mean  $\pm$  SD)、球面度数  $0.11 \pm 3.53$ D、円柱度数  $-1.35 \pm 0.52$ D、矯正視力平均 1.0 (0.8~1.2) であった。手術非希望群は 34 例 47 眼、年齢  $66 \pm 7$  歳、球面度数  $-0.57 \pm 2.62$ D、円柱度数  $-1.00 \pm 0.56$ D、矯正視力平均 1.2 (1.0~1.2) であった。両群間の年齢、屈折度数、矯正視力に有意差はなかった (Mann-Whitney の U 検定)。

### 2. 方法

収差測定は Topcon 社製 KR-9000PW<sup>TM</sup>を用いた。測定条件として環境照度 10 lux 以下の暗室で、1 被検眼に対し 3 回のマニュアル測定を行い、3 回の平均値を採用した。この装置は Hartmann-Shack の原理にて、Zernike 多項式により展開し、収差量を表示する。測定結果の解析には瞳孔径 4 mm での結果、total (S3+S4) を用いた。

白内障手術希望の有無で 2 群に分け、この 2 群間における高次収差を比較検討した。さらに白内

障手術希望群に対しては、愁訴に関するアンケートを行った。アンケートは羞明、霧視、複重視、色異常の 4 項目について 5 段階 (a: 非常に強い, b: やや強い, c: 普通, d: 少しある, e: ない) で評価した。5 段階のうち a, b を強度群, c~e を弱度群とした。検定には Mann-Whitney の U 検定を用いた。

## 結果

### 1. 手術希望群と非希望群の高次収差

白内障手術希望群と非希望群の角膜高次収差は有意差を認めなかった ( $p=0.42$ )。しかし眼球光学系全体の高次収差は手術希望群  $0.272 \pm 0.122 \mu\text{m}$ 、非希望群  $0.201 \pm 0.092 \mu\text{m}$  と、手術希望群が有意に高かった ( $p < 0.001$ ) (図 1)。

### 2. 手術希望群の愁訴評価と高次収差

#### 1) 羞明

手術希望群のなかで 71% (34 眼) が羞明感を訴え、他の愁訴評価に比べ最も強かった (図 2)。強度群と弱度群を比べると、角膜上の高次収差に有意差はなく ( $p=0.69$ )、眼球光学系全体の高次収差において強度群が有意に高い ( $p < 0.001$ ) 結果となった (図 3)。

#### 2) 霧視

手術希望群のなかで 69% (33 眼) が霧視を強く訴えた (図 2)。強度群と弱度群を比べると、角膜上の高次収差に有意差はなく ( $p=0.42$ )、眼球光学系全体の高次収差において強度群が有意に高い ( $p < 0.01$ ) 結果となった (図 4)。

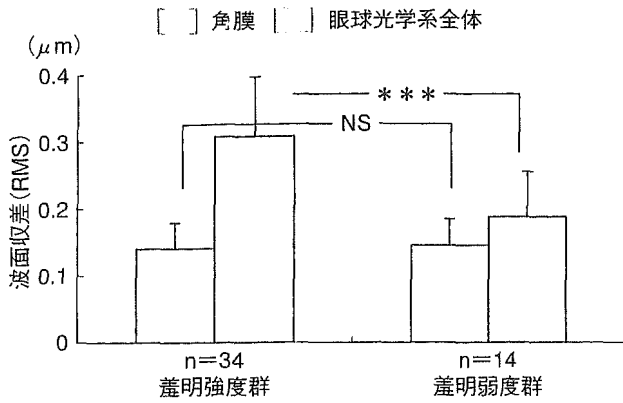


図3 羞明における強度群・弱度群の高次収差(S3+S4)の比較

Mann-WhitneyのU検定にて\*\*\* $p < 0.001$ , NS: not significant. 角膜高次収差は羞明強度群  $0.145 \pm 0.038 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.145 \pm 0.039 \mu\text{m}$ , 眼球光学系全体の高次収差は強度群  $0.307 \pm 0.089 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.188 \pm 0.067 \mu\text{m}$ であった。

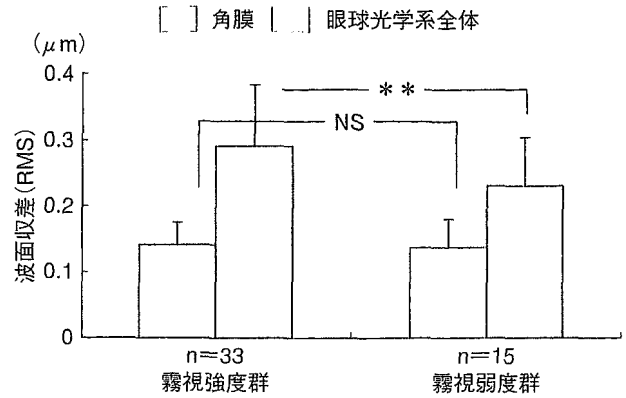


図4 霧視における強度群・弱度群の高次収差(S3+S4)の比較

Mann-WhitneyのU検定にて\*\* $p < 0.01$ , NS: not significant. 角膜高次収差は霧視強度群  $0.141 \pm 0.034 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.136 \pm 0.043 \mu\text{m}$ , 眼球光学系全体の高次収差は強度群  $0.290 \pm 0.092 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.230 \pm 0.073 \mu\text{m}$ であった。

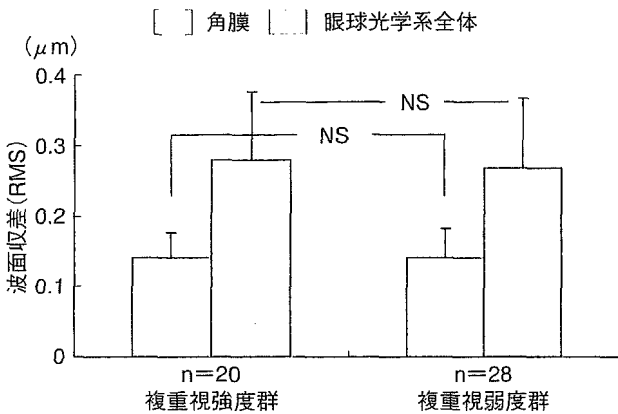


図5 複重視における強度群・弱度群の高次収差(S3+S4)の比較

Mann-WhitneyのU検定にて, NS: not significant. 角膜高次収差は複重視強度群  $0.141 \pm 0.036 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.142 \pm 0.040 \mu\text{m}$ , 眼球光学系全体の高次収差は強度群  $0.279 \pm 0.097 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.267 \pm 0.099 \mu\text{m}$ であった。

### 3) 複重視

手術希望群のなかで42% (20眼)が複重視を強く訴えた(図2)。強度群と弱度群を比べても、角膜 ( $p=0.96$ ), 眼球光学系全体 ( $p=0.45$ )ともに高次収差に有意差はなかった。また強度群20眼の平均円柱度数は  $-1.31 \pm 0.40\text{D}$ , 弱度群28眼では  $-1.37 \pm 0.59\text{D}$ であり, 有意差 ( $p=0.87$ )を認めなかった(図5)。

### 4) 色異常

手術希望群のなかで21% (10眼)が色異常を強く訴えた(図2)。強度群と弱度群を比べても、角膜 ( $p=0.64$ ), 眼球光学系全体 ( $p=0.53$ )ともに

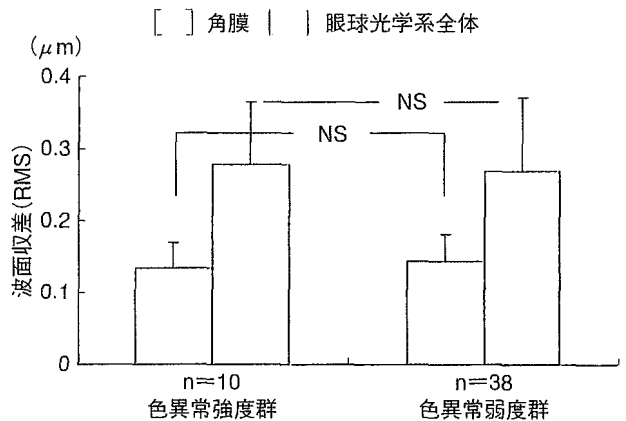


図6 色異常における強度群・弱度群の高次収差(S3+S4)の比較

Mann-WhitneyのU検定にて, NS: not significant. 角膜高次収差は複重視強度群  $0.134 \pm 0.037 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.143 \pm 0.038 \mu\text{m}$ , 眼球光学系全体の高次収差は強度群  $0.278 \pm 0.086 \mu\text{m}$ , 弱度群は  $0.270 \pm 0.101 \mu\text{m}$ であった。

高次収差に有意差はなかった(図6)。

### 考按

白内障患者における「見えにくさ」は従来,主に視力検査で評価されてきた。しかし実際の臨床においては,視力値が良好であるにもかかわらず,不定愁訴的な視覚の不満や手術希望を訴える症例に遭遇する。白内障患者における視覚障害の程度は多岐にわたり,またその生活背景の諸要因から,患者本人の手術に対する要求もさまざまである。手術技術の向上,情報の広まりにより患者が術後に求める理想は高くなる一方である。そのため術

前に患者の視覚障害に対する不満の所在とその程度を把握することが必要になってきている。視力に頼る評価ではなく、実生活における視覚の新しい評価法が検討されてきている。コントラスト感度での評価、また Barnth-Petersen 法<sup>7)</sup>や VF-14<sup>8)</sup>、金沢医大式問診<sup>9)</sup>などのアンケート評価が報告されている。

Barnth-Petersen 法では読書能力、遠方視力、テレビなどの中間距離視力、家事など日常の視力の4点をスコア化した<sup>7)</sup>が、点数設定の根拠が曖昧な点が指摘されている<sup>7)</sup>。VF-14では質問項目が多く日常生活に関して具体的で、中近距離も重視されており、7割が細かい字の見にくさ、2割がテレビの見にくさを強く訴えた<sup>8)</sup>。金沢医大式の問診では、視力0.7以上の良好群において、まぶしさに対する訴えが多く、また極端に視力が低下している者より比較的視力が良好な者ほど訴えが多い傾向がみられたと報告している<sup>9)</sup>。しかしこれらのアンケートはすべて簡便であるが、自覚的・主観的な評価といえる。それに対し他覚的な方法として、画像解析により水晶体の変化をとらえる前眼部解析装置 (EAS-1000) を用いた方法などが報告されている<sup>12)</sup>が、解析、評価法といった点での簡便さに欠けていると思われる。

同じ矯正視力であっても、患者の訴える「見えにくさ」にはかなりの幅がある。今回のアンケート調査においても、同じ矯正視力でありながら訴えの程度や種類がまったく異なるものが多くみられた。今回、アンケートを行った4項目(羞明、霧視、複重視、色異常)は過去に報告されたアンケート評価法の項目も加味しつつ、実際に臨床において訴えの多いものから選択した。

今回の検討では手術希望群において、羞明感を訴える患者の割合が一番多かった。この羞明は「視野内の余計な光による物の見え方が悪くなる現象」であり、眼内での光の散乱によって生じると考えられる。以前から羞明、霧視感といった見えにくさは主として混濁による散乱が原因とされてきた。散乱と年齢の間には相関があり、また年齢とともに高次収差は増加するが、散乱と高次収差には相関がみられなかったとの報告がある<sup>13)</sup>。今回の手術希望群は視力が良好であり、散乱が視力低下を及ぼす前段階であると考えられる。今回、

初期白内障の愁訴のなかでも特に羞明感や霧視感が高次収差に伴い増加した。散乱強度としてではなく、羞明感、霧視感といった愁訴を高次収差によって他覚的・数値的に評価することができる可能性が示唆された。しかし今後さらに初期白内障における愁訴と散乱の関連に関して、検討の余地があると思われた。

複重視や色異常といった訴えは、今回過半数以下にとどまった。単眼での複重視は水晶体の不規則な屈折が主な原因と考えられるが、今回手術希望の有無と円柱度数に有意差はなく、また高次収差においても関連性が得られなかった。

一般的に診断や治療方針決定のために必要な検査は、短時間に、患者に苦痛なく、正確に行うことが最も重要であるとされている。波面センサーでの検査は検査時間も短く、患者への負担も少なく、客観的かつ定量的に評価できる点で適しているといえる。高次収差測定により、簡便かつ客観的に初期白内障を評価することが可能であると考えられた。今後、視機能を評価するツールとして波面センサーがますます活用され、見え方の質、すなわち quality of vision を定量化する手段の1つとして高次収差が用いられる可能性が示唆された。

## 文 献

- 1) Artal P, Berrio E, Guirao A : Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 19 : 137-143, 2002
- 2) Ito M, Shimizu K, Ohno K : Changes in wavefront aberrations with aging. *Jpn J Ophthalmol* (In press)
- 3) Kuroda T, Fujikado T, Maeda N et al : Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract. *Am J Ophthalmol* 134 : 1-9, 2002
- 4) 吉田健一・林 幸子・中嶋順子・他 : コントラスト感度からみた白内障の視機能. *あたらしい眼科* 10 : 317-322, 1993
- 5) 喜多敏泰・大倉久和・魚里 博・他 : 初期白内障眼のコントラスト感度と視力についての検討. *眼臨* 94 : 348-350, 2000
- 6) 保科幸次・井崎篤子・下奥 仁 : 初期白内障の臨床分類とコントラスト感度の検討. *眼紀* 46 : 373-375, 1995
- 7) Bernth-Petersen P : Visual functioning in cataract patients. Methods of measuring and results. *Acta Ophthalmol* 59 : 198-205, 1981
- 8) Steinberg EP, Tielsch JM, Oliver DS et al : The

- VF-14. An index of functional impairment in patients with cataract. Arch Ophthalmol 112: 630-638, 1994
- 9) 中泉裕子・阿部健司・徳田美千代・他: 13 項目の問診による白内障患者術前・術後の訴えと患者の視機能. 臨眼 50: 543-547, 1996
- 10) 三宅三平・太田一郎・前久保久美子・他: 視機能評価法 (VF-14) の改良. IOL & RS 11: 116-120, 1997
- 11) 太田一郎: 視機能の包括的評価とその進め方. あたらしい眼科 15: 1645-1650, 1998
- 12) 大河内浩之・加藤桂一郎・梶田雅義: 画像解析による水晶体の加齢変化. 眼臨 96: 227-229, 2002
- 13) Kuroda T, Fujikado T, Ninomiya S et al: Effect of aging on ocular light scatter and higher order aberrations. J Refract Surg 18: 598-602, 2002

### 本誌の複写利用について

日頃より本誌をご購読いただき誠にありがとうございます。

ご承知のとおり、出版物の複写は著作権法の規定により原則として禁止されており、出版物を複写利用する場合は著作権者の許諾が必要とされています。弊社は本誌の複写利用にかかる権利の許諾ならびに複写使用料の徴収業務を(株)日本著作出版権管理システム (JCLS) に委託しております。本誌を複写利用される場合には JCLS にご連絡のうえ、許諾を得てください。JCLS の連絡先は以下のとおりです。

(株) 日本著作出版権管理システム (JCLS)

所在地 〒113-0033 東京都文京区本郷 4-1-6 本郷 416 ビル 8 階  
電話 03-3817-5670 FAX 03-3815-8199 e-mail info@jcls.co.jp

著作権法は著作権者の許諾なしに複写できる場合として、個人的にまたは家庭内その他これに準ずる限られた範囲で使用すること、あるいは政令で定められた図書館等において著作物の一部 (雑誌にあっては掲載されている個々の文献の半分以下) を一人について一部提供すること、等を定めています。これらの条件に当てはまる場合には許諾は不要とされていますが、それ以外の場合、つまり企業内 (政令で定められていない企業等の図書室、資料室等も含む)、研究施設内等で複写利用する場合や図書館等で雑誌論文を文献単位で複写する場合等については原則として全て許諾が必要です。

複写許諾手続の詳細については JCLS にお問い合わせください。なお、複写利用単価を各論文の第 1 頁に、ISSN 番号と共に表示しております。

(株) 医学書院

## 遠視 LASIK における高次収差変化

梶田浩三\*<sup>1,2</sup> 名和良晃\*<sup>1</sup> 上田哲生\*<sup>1</sup> 原 嘉昭\*<sup>1</sup> 魚里 博\*<sup>2</sup>\*<sup>1</sup> 奈良県立医科大学眼科学講座 \*<sup>2</sup> 北里大学大学院医療系研究科(視覚情報科学)High-Order Optical Aberration Changes after Hyperopic Laser *In Situ* KeratomileusisKozo Masuda<sup>1,2</sup>, Yoshiaki Nawa<sup>1</sup>, Tetsuo Ueda<sup>1</sup>, Yoshiaki Hara<sup>1</sup> and Hiroshi Uozato<sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Nara Medical University<sup>1</sup>, Kitasato University Graduate School of Medical Sciences<sup>2</sup>

遠視 LASIK (laser *in situ* keratomileusis) 術後1年が経過した患者に対し、矯正量と高次収差の関係について検討を行った。方法は、ニデック社製エキシマレーザー EC-5000 を使用し、オブチカルゾーン直径 5.5 mm, トラディションゾーン直径 8.0 mm で遠視 LASIK を行った。対象は術後1年経過した9例16眼で、平均年齢は 58.6 ± 13.0 歳 (37~78 歳) であった。矯正量は、平均 +3.25 D ± 1.18 D (範囲: 2~6 D) であった。高次収差測定には、トプコン社製 KR-9000PW<sup>TM</sup> を使用し、角膜ならびに全眼球における直径 4.0 mm 領域の (S3) · (S4), 直径 6.0 mm 領域の (S3 + S5) · (S4 + S6), それぞれの root mean square (RMS) を求め解析を行った。遠視 LASIK 術後1年において、矯正量が大きくなるにつれ高次収差が増加する結果が示された。それぞれの相関係数は、4.0 mm 領域では (S3) : 角膜 r = 0.269, 全眼球 r = 0.553, (S4) : 角膜 r = 0.540, 全眼球 r = 0.537 で、一方、6.0 mm 領域では (S3 + S5) 角膜 r = 0.225, 全眼球 r = 0.696, (S4 + S6) 角膜 r = 0.488, 全眼球 r = 0.571 であった。今回、角膜のコマ様収差 (S3) · (S3 + S5) を除き、全眼球のコマ様収差ならびに角膜・全眼球の球面様収差は、矯正量に伴い有意に増加する結果が示された。

Purpose : To evaluate the relation between the amount of correction and the amount of high-order optical aberrations in eyes that underwent hyperopic LASIK (laser *in situ* keratomileusis). Methods : High-order aberrations were measured using the TOPCON KR-9000PW<sup>TM</sup> in 16 eyes of 9 patients that had undergone hyperopic LASIK 1 year previously. The patients mean age was 58.6 years (range : 37~78 yrs). Mean attempted correction was 3.25 D (range : 2~6 D). The NIDEK EC-5000 excimer laser was used with optical zones of 5.5 mm and transition zone of 8.0 mm. We used the root mean square (RMS) of (S3) · (S4) in the 4.0 mm and (S3 + S5) · (S4 + S6) in the 6.0 mm central zone to analyze corneal and total ocular aberrations. Correlation coefficients between each RMS and the attempted correction were statistically analyzed. Results : The amount of high-order optical aberrations correlated with the amount of attempted correction at one year after hyperopic LASIK. Correlation coefficients in the 4.0 mm central zone were 0.269 (S3) and 0.540 (S4) for corneal aberrations, 0.553 (S3) and 0.537 (S4) for total ocular aberrations. Correlation coefficients in the 6.0 mm central zone were 0.225 (S3 + S5) and 0.488 (S4 + S6) for corneal aberrations, 0.696 (S3 + S5), and 0.571 (S4 + S6) for total ocular aberrations. Conclusion : The result of this study suggests that the amount of coma-like aberrations of the eye and the amount of spherical-like aberrations of the cornea and the eye significantly correlate with the amount of attempted correction. However, the amount of coma-like aberrations of the cornea (S3) · (S3 + S5) did not correlate with the amount of attempted correction.

(Atarashii Ganka (Journal of the Eye) 21(9) : 1237~1240, 2004)

**Key words** : 屈折矯正手術, 遠視 LASIK, 高次収差, 視機能. refractive surgery, hyperopic LASIK, high-order optical aberrations, optical quality.

はじめに  
近年、手術手技の確立より LASIK (laser *in situ* ketatomi-  
leusis) は、術後屈折値の安定が早く、疼痛の少ない点など

から主として行われるようになってきた。LASIK を含む屈  
折矯正手術後の視機能の評価法としては、2次収差である、  
球面レンズ・円柱レンズ値やコントラスト感度値でもに評

〔別刷請求先〕 梶田浩三 : 〒634-8522 橿原市四条町 840 奈良県立医科大学眼科学講座

Reprint requests : Kozo Masuda, C.O., Department of Ophthalmology, Nara Medical University, 840 Shijo-cho, Kashihara-shi 634-8522, JAPAN



価されている。しかし、屈折矯正手術後に、自覚的な視機能障害を訴える患者に対しての評価は困難であった。近年、波面センサーが開発され、高次波面収差の測定により不正乱視の評価や数値化が可能となった<sup>1-3)</sup>。

PRK (photorefractive keratectomy) や LASIK における近視矯正では、エキシマレーザーを中央部に照射するのに対し、遠視矯正では、周辺部にドーナツ状に照射を行うことで中心部をステープ化させる。遠視矯正手術後の角膜は<sup>4)</sup>、角膜上にフラットの形状とステープの形状が混在し、近視矯正と比較してより非球面形状を示す。

角膜屈折矯正手術において、良好な矯正効果を得るためにセントリングは、重要な要素となり<sup>5)</sup>、セントリングのズレは、球面収差やコマ収差の発生の原因となる<sup>6)</sup>。また、高次収差の増加は、コントラスト感度や視機能に影響することが知られている<sup>7,8)</sup>。しかし、角膜屈折矯正手術後の角膜における高次収差の変化については報告されている<sup>9-11)</sup>が、全眼球の高次収差がどのように影響するかはまだよく知られていない。

筆者らは、遠視 LASIK 後 1 年経過観察が可能であった症例に対し、高次収差を測定し矯正量との関係について検討を行った。

## I 対象および方法

遠視 LASIK の臨床治験 (治験統括医：増田寛次郎) を施行し、術後 1 年以上の経過観察が可能であった 9 例 16 眼を対象とした。年齢は 37~78 歳 (平均 58.6 ± 13.0 歳)。術前の自覚的屈折度数は、等価球面值で +3.25 ± 2.75 D (0.75~10.1 D) であった (表 1)。患者の選択にあたり、術前に視力

表 1 遠視 LASIK の背景

症例数	9 例 16 眼
年齢 (歳)	58.6 ± 13.0
矯正量 (D)	3.25 ± 1.18 (2~6D)
自覚的屈折度数	
等価球面值 (D)	
術前	+3.27 ± 2.75
術後	+1.50 ± 1.67
	(平均 ± SD)

表 2 遠視 LASIK における角膜・眼球の高次収差 RMS (μm) の変化 (平均 ± SD)

	4.0 mm zone		6.0 mm zone	
	術前	術後	術前	術後
角膜 (S3)	0.085 ± 0.038	0.139 ± 0.073	(S3 + S5) 0.266 ± 0.146	0.503 ± 0.286
(S4)	0.050 ± 0.021	0.062 ± 0.044	(S4 + S6) 0.244 ± 0.085	0.407 ± 0.300
全眼球 (S3)	—	0.237 ± 0.151	(S3 + S5) —	0.754 ± 0.489
(S4)	—	0.100 ± 0.058	(S4 + S6) —	0.551 ± 0.489

術前の高次収差は、EyeSys™ の AxialMAP から高次収差解析ソフト VOL-CT を使用し計算。

検査・屈折検査・眼圧検査・Schirmer テスト・角膜内皮検査・角膜形状解析・コントラスト感度検査・前眼部および眼底検査を行い、矯正視力 1.0 以上、その他眼疾患を認めない患者に対して手術を行った。

エキシマレーザーは、ニデック社製 EC-5000 を全症例に使用した<sup>12)</sup>。レーザーの仕様は、波長 193 nm、発振周波数 30 Hz、切除率 0.6 μm/スキャン、オプティカルゾーン直径 5.5 mm、トラディションゾーン直径 8.0 mm。マイクロケラトームは、ニデック社製 MK-2000 を使用し、フラップ厚 160 μm、フラップ径 9.5 mm の設定で行った。

矯正量は、平均 +3.25 D ± 1.18 (2~6 D) であった。1 例のみ乱視矯正を同時に行ったが、他の全例は球面のみの矯正を行った。1 例の円柱矯正度数は 0.75 D であった。

高次収差の測定には、Hartmann-Shack 波面センサー (KR-9000PW™, トプコン社製) を用いた。解析方法は、Zernike 多項式で展開された 3 次、4 次、5 次および 6 次収差の root mean square (RMS) を求め、Photopic Vision の 4.0 mm 領域では 3 次のコマ様収差 (S3) と 4 次の球面様収差 (S4) を、Scotopic Vision の 6.0 mm 領域では 3 次と 5 次のコマ様収差 (S3 + S5) ならびに 4 次と 6 次の球面様収差 (S4 + S6) を計算し、おのおの求められた収差量と矯正量の関係を角膜ならびに全眼球について検討を行った。なお、今回術前の高次収差は、術前に波面収差測定ができなかったため、術前に EyeSys™ で測定した角膜形状をもとに高次収差解析ソフト VOL-CT (Sarver and Associates, Inc, Florida, USA) を使用し計算を行った。

## II 結 果

術前の角膜の高次収差は表 2 に示す。遠視 LASIK 手術において epithelial ingrowth (1 例)、術中出血 (3 例)、術後 1 年での鉄染色 (6 例) を認めた以外に術中術後での free flap, button hole, thin flap, フラップのズレなどの合併症は認められなかった。

### 1. Photopic Vision における術後の収差

4.0 mm 領域における高次収差の結果は、角膜による 3 次のコマ様収差 (S3) : 0.139 ± 0.073 μm (means ± SD)、4 次の球面様収差 (S4) : 0.062 ± 0.044 μm であった。全眼球に

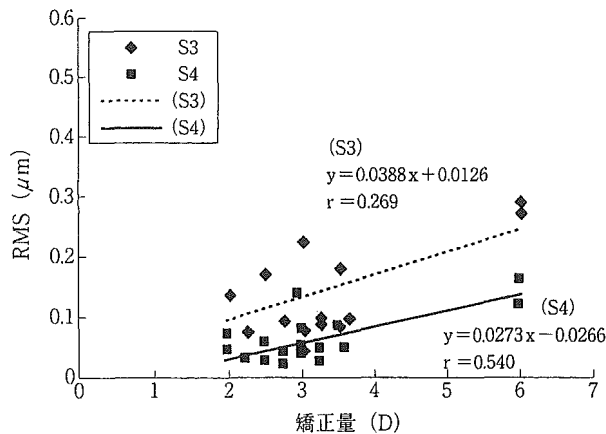


図1 4.0 mm 領域の角膜における遠視矯正量に伴う高次収差の変化

遠視の矯正量の増加に伴い角膜における4次の球面様収差(S4)が増加を示す ( $p < 0.05$ ).

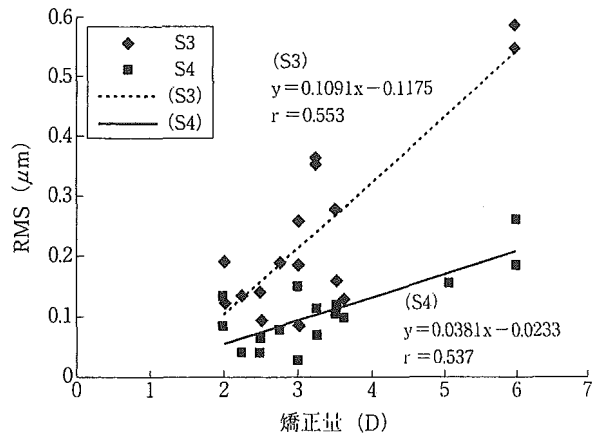


図2 4.0 mm 領域の全眼球における遠視矯正量に伴う高次収差の変化

遠視の矯正量の増加に伴い全眼球における3次のコマ様収差(S3)と4次の球面様収差(S4)が増加を示す ( $p < 0.02$ ).

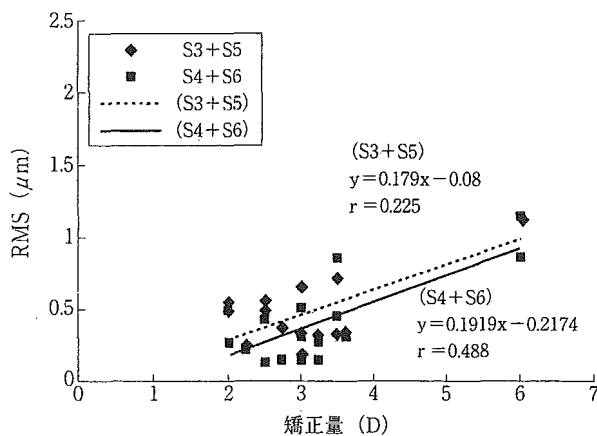


図3 6.0 mm 領域の角膜における遠視矯正量に伴う高次収差の変化

遠視の矯正量の増加に伴い角膜における4次と6次の球面様収差(S4+S6)が増加を示す ( $p < 0.05$ ).

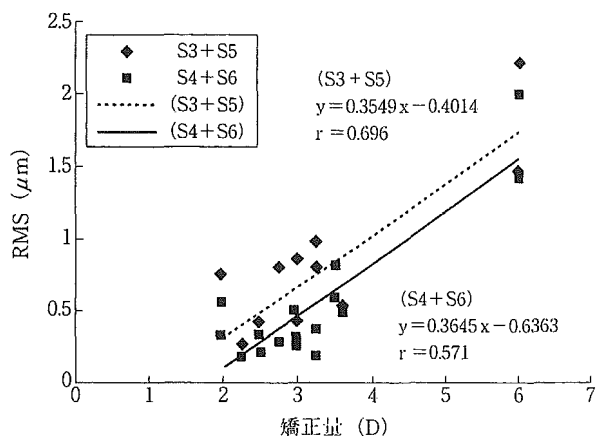


図4 6.0 mm 領域の全眼球における遠視矯正量に伴う高次収差の変化

遠視の矯正量の増加に伴い全眼球における3次と5次のコマ様収差(S3+S5)と4次と6次の球面様収差(S4+S6)が増加を示す ( $p < 0.02$ ).

よる収差(S3)は平均  $0.237 \pm 0.151 \mu\text{m}$ , (S4)は  $0.100 \pm 0.058 \mu\text{m}$ であった。角膜による収差と矯正量との相関関係は、(S3)と矯正量との間に有意な相関が認められなかったが、(S4)と矯正量との間に有意な相関が認められた(図1)。全眼球による収差と矯正量との相関関係は、(S3)・(S4)ともに矯正量との間に有意な相関が認められた(図2)。

## 2. Scotopic Vision における術後の収差

6.0 mm 領域における高次収差の結果は、角膜による3次と5次のコマ様収差(S3+S5):  $0.503 \pm 0.286 \mu\text{m}$  (means  $\pm$  SD), 4次と6次の球面様収差(S4+S6):  $0.407 \pm 0.300 \mu\text{m}$ , 全眼球による収差(S3+S5):  $0.754 \pm 0.489 \mu\text{m}$ , (S4+S6):  $0.551 \pm 0.489 \mu\text{m}$ であった。角膜による収差と矯正量との相関関係は、(S3+S5)と矯正量との間に有意な相関が認められなかったが、(S4+S6)と矯正量との間に有

意な相関が認められた(図3)。全眼球による収差と矯正量との相関関係は、(S3+S5)・(S4+S6)ともに矯正量との間に有意な相関が認められた(図4)。

## III 考 按

屈折矯正手術はその手技の確立により、PRKに代りLASIKが主として行われるようになってきた。術後の裸眼視力向上は重要であるが、加えて術後のQOV (quality of vision) を考えるうえで、眼鏡やCL (コンタクトレンズ) で矯正できない高次収差の影響について議論されるようになってきた。Oshika<sup>9)</sup>は、術前等価球面值  $-2.25 \sim -5.50\text{D}$  に行った近視LASIKにおいて、瞳孔径3.0 mmと7.0 mmでの球面様収差(S4+S6)およびコマ様収差(S3+S5)について検討

を行い、術後角膜における高次収差の増加を報告している。また、Wangら<sup>10)</sup>は、遠視LASIKにおいて、術前と術後3カ月間における3次から6次までの高次収差について角膜の3.0 mmと6.0 mm領域における矯正量に伴う高次収差の平均値の変化について、Visx Star S2 : 3.0 mm領域で術前0.099  $\mu\text{m}$ 、術後0.143  $\mu\text{m}$ 、6.0 mm領域で術前0.485  $\mu\text{m}$ 、術後0.557  $\mu\text{m}$ 、Visx Star S3 : 3.0 mm領域で術前0.108  $\mu\text{m}$ 、術後0.105  $\mu\text{m}$ 、6.0 mm領域で術前0.493  $\mu\text{m}$ 、術後0.560  $\mu\text{m}$ と報告し、コマ収差においても同様に術後増加する結果を報告している。これまで多くの報告において、角膜前面形状から得られる高次収差について検討を行っているが、遠視LASIK後の角膜ならびに角膜を含む眼球全体の収差についての検討はあまりなされていない。今回の結果から、角膜における球面様収差、全眼球におけるコマ・球面収差において、矯正量の増加に伴い収差が増加する結果が示されたが、しかし、角膜のコマ様収差である4.0 mm領域の(S3)、6.0 mm領域の(S3+S5)において、矯正量と高次収差の間に統計上の有意な相関が認められなかった。この理由として、コマ収差の生じさせるセンタリングのズレは、術後角膜トポグラフィから求められた値では、平均0.68 $\pm$ 0.44 mmであり、Mrochenら<sup>6)</sup>は、センタリングのズレの量に伴い角膜でのコマ様収差が増加すると報告しているが、今回の結果では矯正量とセンタリングのズレの相関性は認められなかった。また、矯正量とコマ様収差の相関において、角膜と全眼球的両者間に異なる結果が生じた理由として、眼球の高次収差は、角膜の収差とその他の収差で眼球全体のバランスを保っており<sup>13)</sup>、特にコマ収差の補正関係が影響するのではないかと考えられる。

今回遠視LASIKを行い、術後1年経過し角膜形状が安定した患者に対して高次収差の測定を行った。結果の検討における問題点は、術前と術後で高次収差の測定が異なる器械を使用している点にある。しかし、矯正量と高次収差の間に正の相関が認められた結果から術前の高次収差の測定は、他の器械で代用して問題は少ないと考えられる。また、対象年齢が平均58.6歳であり、眼球全体の高次収差を検討するうえで、白内障を伴う屈折値や高次収差の変化<sup>14)</sup>が問題となる。最高年齢が78歳で白内障による影響を考慮する必要があるが、術前の矯正視力は1.0であり、術前のスリット所見より、白内障による影響はきわめて少ないと判断し、治験症例に加えた。術後の矯正視力も1.0であり、変化は認めなかった。また、術後の高次収差の結果と他の症例との比較検討を行ったが、白内障の影響は少ないと推測された。

全眼球的収差のバランスが変化する角膜屈折矯正手術において、QOVを考える際、全眼球における収差の検討がより

重要である。正常角膜に行う角膜屈折矯正手術は、裸眼視力の向上をもたらすが、その反面少なからず高次収差の増加をもたらす。高次収差に関する研究ははじまったばかりであるが、高次収差の増加がどの程度あれば許容されるかは今後検討していく必要があると思われる。

#### 文 献

- 1) Applegate RA, Howland HC, Sharp RP, Cottingham AJ et al : Corneal aberration and visual performance after refractive surgery. *J Refract Surg* 14 : 397-407, 1998
- 2) Wang L, Dai E, Koch DD, Nathoo A : Optical aberrations of human anterior cornea. *J Cataract Refract Surg* 29 : 1514-1521, 2003
- 3) Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT, Webb R : Standards for reporting the optical aberration of eyes. *J Refract Surg* 18 : 652-661, 2002
- 4) Chen CC, Izadshenas A, Rana MAA, Azar DT : Corneal asphericity following hyperopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 28 : 1539-1545, 2002
- 5) Uozato H, Guyton DL : Centering corneal surgical procedures. *Am J Ophthalmol* 103 : 264-275, 1987
- 6) Mrochen M, Kaemmerer M, Mierdel P, Seiler T : Increased higher-order optical aberration after laser refractive surgery : a problem of subclinical decentration. *J Cataract Refract Surg* 27 : 362-369, 2001
- 7) Applegate RA, Marasack JD, Ramos R, Sarver EJ : Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg* 29 : 1487-1495, 2003
- 8) Chan JWW, Edwaerds MH, Woo GC, Woo VCP : Contrast sensitivity after laser in situ keratomileusis ; one-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 28 : 1774-1779, 2002
- 9) Oshika T, Klyce SD, Applegate RA et al : Comparison of corneal wavefront aberration after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 127 : 1-7, 1999
- 10) Wang L, Koch DD : Anterior corneal optical aberration induced by laser in situ keratomileusis for hyperopia. *J Cataract Refract Surg* 29 : 1702-1708, 2003
- 11) Oliver KM, O'Brart DPS, Stephenson CG et al : Anterior corneal optical aberrations induced by photorefractive keratectomy for hyperopia. *J Refract Surg* 17 : 406-413, 2001
- 12) Zadok D, Maskaleris G, Montes M, Shah S et al : Hyperopic laser in situ keratomileusis with the Nidek EC-5000 excimer laser. *Ophthalmology* 107 : 1132-1137, 2000
- 13) Mrochen M, Jankov M, Bueeler M, Seiler T : Correlation between corneal and total wavefront aberrations in myopic eyes. *J Refract Surg* 19 : 104-112, 2003
- 14) Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, Oshika T et al : Wavefront analysis of higher-order aberrations in patients with cataract. *J Cataract Refract Surg* 28 : 438-444, 2002

\* \* \*

# Ocular dominance and patient satisfaction after monovision induced by intraocular lens implantation

Tomoya Handa, CO, Kazuo Mukuno, MD, Hiroshi Uozato, PhD, Takahiro Niida, MD, Nobuyuki Shoji, MD, Risako Minei, MD, Marie Nitta, CO, Kimiya Shimizu, MD

**Purpose:** To elucidate the relationship between ocular dominance and patient satisfaction with monovision induced by intraocular lens implantation.

**Setting:** Eye Clinic, Kitasato University School of Medicine Hospital, Sagamihara, Kanagawa, Japan.

**Methods:** The durations of exclusive visibility of dominant- and nondominant-eye targets were measured in 16 patients with successful monovision and 4 patients with unsuccessful monovision to determine the characteristics of ocular dominance. The dominant eye was determined using the hole-in-card test (sighting dominance). The contrast of target in nondominant eye was fixed at 100%; the contrast of target in the dominant eye varied (ie, 100% to 80% to 60% to 40% to 20%) using rectangular gratings of 2 cycles per degree that were 4 degrees in size.

**Results:** In the successful monovision group, the reversal thresholds (ie, exclusive visibility of the nondominant eye crosses over that of the dominant eye) were displayed only at low decreasing contrast (80% and 60%). However, in the unsuccessful monovision group, the reversal thresholds were at high decreasing contrast (20%) or not at all. The reversal thresholds in patients with unsuccessful monovision were at a significantly lower contrast than in patients with successful monovision ( $P < .05$ ).

**Conclusions:** Success and patient satisfaction in monovision patients were significantly influenced by the magnitude of ocular dominance. The balance technique seems to be a good method to evaluate the quantity of ocular dominance and prospectively evaluate the monovision technique.

*J Cataract Refract Surg* 2004; 30:769–774 © 2004 ASCRS and ESCRS

Monovision is a means of presbyopic correction in which 1 eye is corrected for distance vision and the other eye for near vision.<sup>1</sup> In clinical practice, the dominant eye is commonly corrected for distance.<sup>1</sup> This practice is based on the assumption that it is easier to suppress blur in the nondominant eye than in the dominant eye. This has not been quantitatively investigated with regard to several factors such as the degree

of ocular dominance. Most clinicians are unable to evaluate whether a patient will be able to adjust to monovision correction. Therefore, monovision limitations in refractive surgery have not been clearly defined in the current ophthalmic literature, although the monovision success rate with contact lens correction is high.<sup>1,2</sup>

Ideally, the patient with monovision should be able to see clearly at all distances. The binocular clear-vision range should be continuous and equal to the sum of the monocular clear ranges without interference from blurred images in 1 eye. However, input from the dominant eye produces a greater response to a given stimulus

Accepted for publication July 25, 2003.

Reprint requests to Tomoya Handa, CO, Doctor's Program of Medical Science, Kitasato University Graduate School, 1-15-1 Kitasato, Sagami-hara-shi 228-8555, Japan. E-mail: tomoya.handa@nifty.com.

© 2004 ASCRS and ESCRS  
Published by Elsevier Inc.

0886-3350/04/\$—see front matter  
doi:10.1016/j.jcrs.2003.07.013