

総 説

コンタクトレンズの最近のトレンド

植田 喜一

下関市（ウエダ眼科）

The Recent Trends of Contact Lenses

Kiichi Ueda

Shimonoseki City (Ueda Eye Clinic)

コンタクトレンズ（CL）の素材，製造，デザインの進歩によって，多種多様な高品質のレンズが登場し，多くの人々がその恩恵を受けるようになった。とりわけディスポーザブルソフト CL や頻回交換ソフト CL の普及は目覚ましいものがある。また，乱視矯正を目的としたトーリックレンズ，老視矯正を目的とした遠近両用レンズ，円錐角膜に対する特殊なデザインを有するレンズなど，付加価値の高いレンズも開発された。最近の CL による屈折矯正についてその概要を述べる。

(視覚の科学 24: 104-116, 2003)

キーワード：ディスポーザブルソフトコンタクトレンズ，頻回交換ソフトコンタクトレンズ，トーリックレンズ，遠近両用レンズ，円錐角膜

Various kinds of high quality contact lenses have been released as a result of progress in the materials, production processes and lens designs, which have become of benefit to many people. Prevalence of the disposable soft contact lens and frequent-replacement soft contact lens is remarkable. In addition, high value-added lenses, such as the toric lens which corrects astigmatism, the bifocal lens for presbyopia and the lens with particular design for keratoconus, have also been developed. Refraction by recent contact lens is outlined.

(Jpn J Vis Sci 24: 104-116, 2003)

Key Words: Disposable soft contact lens, Frequent-replacement soft contact lens, Toric lens, Bifocal lens, Keratoconus

1. はじめに

コンタクトレンズ（以下 CL）の歴史は素材，製法，デザインの進歩によるといっても過言ではない。我が国では，1951年にポリメチルメタクリレート（以下 PMMA）素材の強角膜レンズが主として円錐角膜の患者を対象として臨床に応用された。その後，1957年に PMMA 素材のハード CL（以下 HCL）が，1972年には含水性素材のソフト CL（以下 SCL）が，1979年には酸素透過性素材の HCL が市販された。更

に製法の進歩により高品質のレンズが大量に製造されるようになると，1991年には1週間連続装用ディスポーザブル SCL，1994年には2週間頻回交換 SCL，1995年には1日ディスポーザブル SCL が市販された。CL のデザインにおいても製造技術の進歩によって CL の光学部，周辺部それぞれに球面，非球面，トーリック面，モノカーブ，マルチカーブなど特殊な加工を施すことが可能になった。現在，各メーカーから多種多様の CL が供給されており，多くの患者がその恩恵を受けている。本稿では，近年の CL の屈折矯

別刷請求先：751-0872 下関市秋根南町1-1-15 ウエダ眼科 植田喜一
(2003年11月6日受理)

Reprint requests to: Kiichi Ueda, MD Ueda Eye Clinic
1-1-15 Akineminami-machi, Shimonoseki 751-0872, Japan
(Received and accepted November 6, 2003)

正法における進歩についてその概要を述べる。

2. 乱視の矯正

全乱視の矯正については軽度であれば球面 HCL あるいは球面 SCL に対応できるが、中等度～強度の乱視でこれらの CL を使用しても残余乱視が問題になる場合には、前面トーリック HCL あるいはトーリック SCL の処方を考えなければならない¹⁻⁴⁾。角膜乱視の矯正については軽度～中等度であれば球面 HCL に対応できるが、強度になると後面トーリック HCL あるいは両面トーリック HCL の処方を考えなければならない場合がある¹⁻⁴⁾。円錐角膜などの不正乱視の矯正は球面 HCL が第一選択となる (表 1)。

トーリックレンズはトーリック面をもつレンズのことをいうが、トーリック面とは経線の方によって異なる曲率半径をもつ面のことをいう。トーリック CL にはそれぞれトーリック HCL とトーリック SCL があり、トーリック面が設置される場所により前面トーリック、後面トーリック、両面トーリックの三種類がある。眼鏡であればレンズはフレームによって固定されるが、CL は角膜上で回転する可能性があり、回転すると円柱軸の位置が変化するため適切な乱視矯正ができない。そのため、CL が角膜上で回転しないような仕組みが必要となる。トーリック CL の回転防止法としては、レンズの下方にプリズム加工を施すプリズムバラスト法、レンズの上下に薄

い部分をつくるダブル・スラブ・オフ法、レンズの下方の一部を平坦にするトランケーション法、CL の後面の形状を角膜の形状に合わせる後面トーリック法などがある (図 1)。

1) トーリック SCL

全乱視の矯正を目的としており、球面 SCL を使用しても残余乱視のため、良好な視力が得られない症例が適応となる¹⁻⁵⁾。トーリック面の設置場所は前面または後面で、軸の固定法としてはプリズムバラスト法、ダブル・スラブ・オフ法、後面トーリック法などが採用されている。トーリック SCL を処方する機会が増えてきた理由としては、2 週間頻回交換あるいは 1 日ディスプレイザブルレンズとして高品質の製品が登場したことが挙げられる。2002 年にメダリスト® 66 トーリックと 2 ウィークアキュビュー® トーリックが、2003 年にフォーカス® デイリーズ® トーリックが発売された。これらのレンズの特徴としては、後面トーリックであるため軸の安定性がよくなったことと、

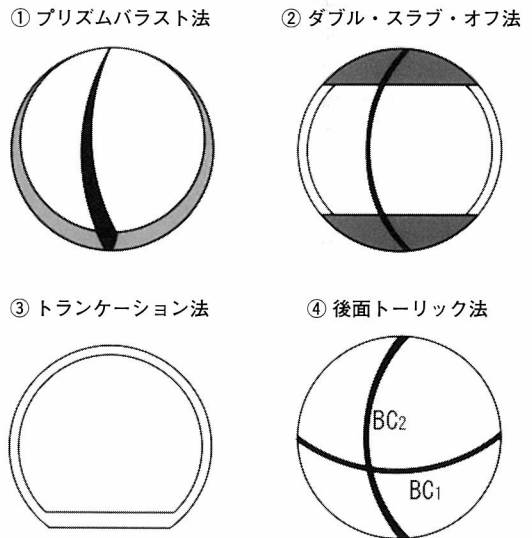


図 1 トーリック CL の回転防止法

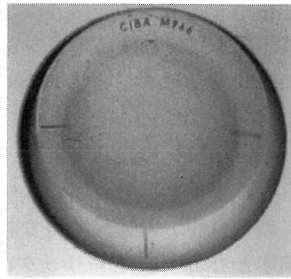
表 1 乱視矯正における CL の選択

全乱視	
・軽度	□ 球面 HCL, 球面 SCL
・中等度 以上	□ 前面トーリック HCL, トーリック SCL
角膜乱視	
・軽度～中等度	□ 球面 HCL
・強度	□ 後面トーリック HCL, 両面トーリック HCL
・不正乱視	□ 球面 HCL

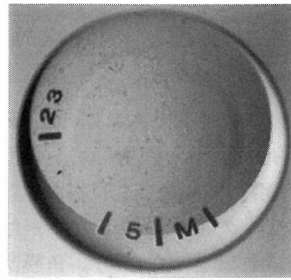
表 2 2 週間頻回交換および 1 日ディスプレイザブル SCL の特徴

使用期間	レ ン ズ 名	トーリック面	軸の固定法	Dk 値*
2 週間	フォーカス® トーリック	後面	プリズムバラスト法	16.0
2 週間	メダリスト® 66 トーリック	後面	プリズムバラスト法	32.0
2 週間	2 ウィークアキュビュー® トーリック	後面	ダブル・スラブ・オフ法	28.0
1 日	フォーカス® デイリーズ® トーリック	後面	ダブル・スラブ・オフ法	26.0

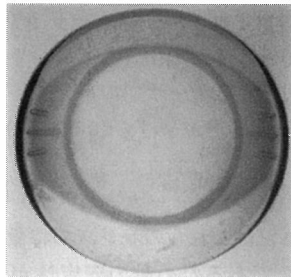
*Dk 値: 酸素透過係数 [$\times 10^{-11} (\text{cm}^2/\text{sec}) \cdot (\text{ml O}_2/\text{ml} \times \text{mm Hg})$]



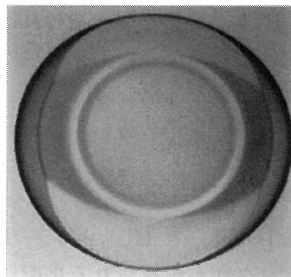
フォーカス®2ウィークトーリック



メダリスト®66トーリック



2ウィークアキュビュー®トーリック



フォーカス®デイリーズ®トーリック

図2 2週間頻回交換および1日ディスプレイザブルトーリック SCL のデザイン

素材が高い酸素透過係数 (Dk 値) を示すため角膜に対する安全性が高くなったことなどが挙げられる (表2)。図2にこれらのレンズの写真を示す。フォーカス®2ウィークトーリックとメダリスト®66トーリックはプリズムバラスト法で、2ウィークアキュビュー®トーリックとフォーカス®デイリーズ®トーリックはダブル・スラブ・オフ法である。それぞれのレンズは比較的類似したデザインであるが、実際に装着すると異なる動きをすることがある。したがって、各症例に適合するレンズを選択することが求められる。

症例1 (トーリック SCL の処方例)

27歳, 女性 (右眼)

自覚的屈折値: $VD = (1.2 \times S - 3.50 D \div C - 1.00 D \text{ Ax } 180^\circ)$

$VD = (0.8 \times \text{球面 SCL}) \quad 8.8 \text{ mm} / S - 3.50 D / 14.0 \text{ mm}$

$= (1.2 \times \text{球面 SCL} \div C - 1.00 D \text{ Ax } 180^\circ)$

$VD = (1.2 \times \text{トーリック SCL})$

$8.9 \text{ mm} / S - 3.50 D / C - 1.00 D / 180^\circ / 14.5 \text{ mm}$

症例1は-1.00Dの直乱視の症例であるが、球面SCLでは良好な視力が得られなかったため、トーリックSCLを使用することにより満足のいく視力が得られた。

2) トーリック HCL

トーリック HCL には前面トーリック、後面トーリック、両面トーリックがあるが、トーリック SCL の普及に伴って前面トーリック HCL を処方する機会は少なくなったので、このレンズの説明は省略し、後面トーリック HCL と両面トーリック HCL について説明を加える。

後面および両面トーリック HCL の適応は強度の角膜乱視で、通常の球面 HCL でフィッティングが不良である、異物感が強い、角結膜障害が生じる、乱視の矯正が不十分である場合にはこれらのレンズの処方を考える。レンズが回転しないためには、角膜曲率半径の弱主経線値と強主経線値の差が 0.40 mm 以上必要である¹⁻⁴⁾。

(1) 後面トーリック HCL

レンズの前面は通常の単一の球面カーブであるが、後面は弱主経線と強主経線で異なった二つのベースカーブ (以下 BC) ($BC_1 > BC_2$) をもつ。一般に角膜曲率半径の弱主経線値と中間値の間に近い値を BC_1 、強主経線値と中間値の間に近い値を BC_2 として選択する。

症例2の角膜曲率半径の弱主経線値は 8.19 mm, 強

主経線値は 7.51 mm, 中間値は 7.85 mm なので, BC₁ は 8.05 mm, BC₂ は 7.65 mm を選択した。通常の球面 HCL ではレンズの下方にエッジの浮き上がりがあり, 時間の経過とともにレンズは角膜中央ではなく下方に偏位したが, 後面トーリック HCL ではレンズは角膜中央に安定した (図 3)。

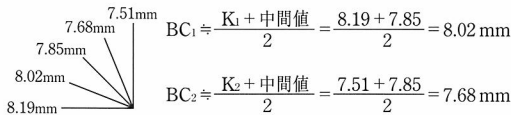
症例 2 (後面トーリック HCL の処方例)

33歳, 女性 (右眼)

自覚的屈折検査 VD = (1.0 × S - 5.00 D = C - 4.75 D Ax 165°)

角膜乱視 -3.73 D Ax 171°

角膜曲率半径



VD = (1.2 × 後面トーリック HCL)

8.05 mm / 7.65 mm / -5.00 D / 8.9 mm

(2) 両面トーリック HCL

レンズの後面だけでなく前面もトーリック面である。レンズ後面については角膜曲率半径の弱主経線値と強主経線値に近い値をそれぞれ BC として選択する。BC をこのような値に選択したレンズを装着すると角膜乱視に対しては過矯正になるので, それを矯正するために前面もトーリック面にする¹⁻⁴⁾。

症例 3 の角膜曲率半径の弱主経線値は 8.20 mm, 強主経線値は 7.44 mm なので, BC₁ は 8.20 mm と BC₂ は 7.50 mm を選択した。この症例に球面 HCL, 後面トーリック HCL, 両面トーリック HCL を装着した状態を図 4 に示す。球面 HCL を使用するよりも後面トーリック HCL を, 更に両面トーリック HCL を使用することでフルオレseinパターンはより平行になり, レンズのフィッティングは良好になった。

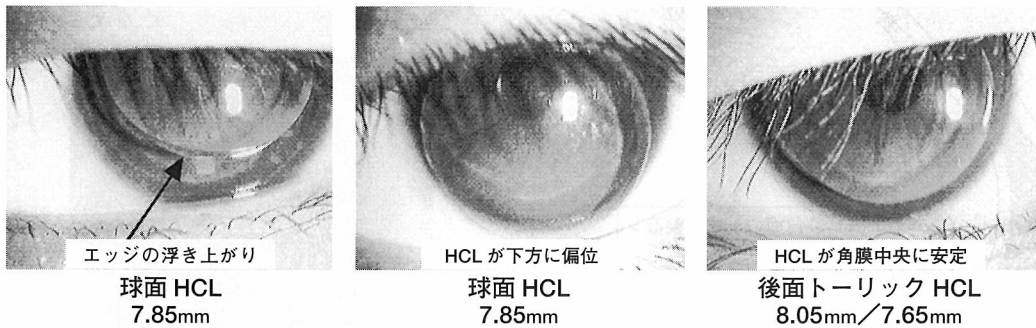


図 3 後面トーリック HCL の処方例

通常の球面 HCL ではエッジの下方が浮き上がり, 時間が経つとレンズは下方に偏位するが, 後面トーリック HCL ではエッジの浮き上がりがなく, レンズは角膜中央に安定する。

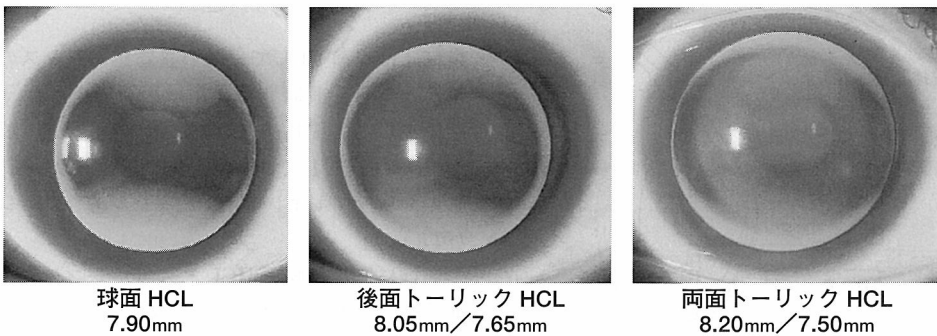


図 4 両面トーリック HCL の処方例 (フルオレseinパターンの比較)

球面 HCL よりも後面トーリック HCL を, 更に両面トーリック HCL を使用することでフルオレseinパターンはより平行になり, レンズのフィッティングは良好になる。

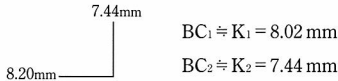
症例3 (両面トーリック HCL の処方例)

25歳, 女性 (右眼)

自覚的屈折検査 $VD = (0.5 \times S - 0.25 D \div C - 4.00 D \text{ Ax } 170^\circ)$

角膜乱視 $-4.20 D \text{ Ax } 169^\circ$

角膜曲率半径



$VD = (1.2 \times \text{両面トーリック HCL})$

$8.20 \text{ mm} / 7.50 \text{ mm} / +0.25 D / 9.0 \text{ mm}$

3. 不正乱視の矯正

HCLによる角膜乱視の矯正について考えると, 角膜前面の乱視を涙液レンズが矯正するため, 不正乱視の矯正にはHCLが最適である(図5)。したがって, 不正乱視の代表である円錐角膜に対しては, これま

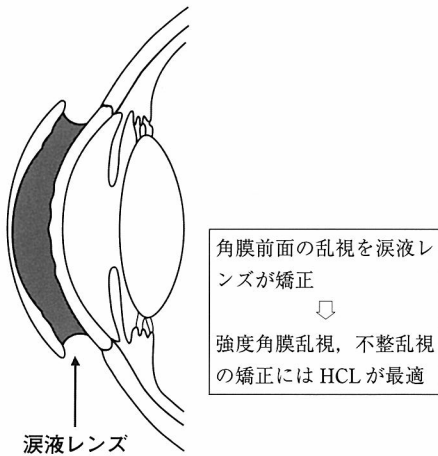


図5 HCLによる角膜乱視の矯正

で球面HCLを処方することが多かった。しかしながら, 最近では色々なデザインのレンズが開発されている。

円錐角膜の頂点部は前方に突出しているが, 円錐角膜であっても周辺部は通常の角膜と同様の形状をしていることが多いため, レンズについても光学部と周辺部にそれぞれ離心率の異なる非球面デザインとして角膜に上手くフィットさせようという発想のもとに考案されたレンズがある(図6)。以下に株式会社エイコーのAphex KCの処方例を提示する。

症例4 (円錐角膜用非球面 HCL の処方例)

33歳, 女性 (左眼)

$VS = (0.4 \times \text{球面 HCL})$

$7.20 \text{ mm} / -4.00 D / 8.8 \text{ mm}$

- ・強い異物感
- ・上方視, 側方視, 強い瞬目によるレンズのずれ(+), 脱落(+)
- ・長時間のレンズの装用が困難

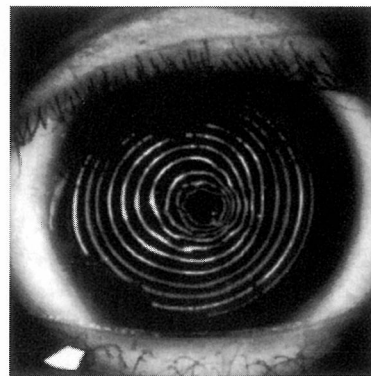


図7 フォトケラトスコープ (PKS) で撮影したマイアー像 角膜中央にリングの歪みを認める。

円錐角膜用非球面 HCL (Aphex KC)

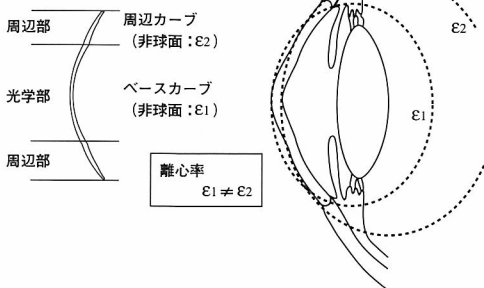


図6 円錐角膜用非球面 HCL

症例4は球面HCLでは強い異物感, レンズのずれや脱落があり, 長時間の装用は困難であった(図7)。球面HCLでは下方のレンズの浮き上がりが大きい, 非球面HCLでは角膜全体が比較的上手くフィットしており, フルオレセインパターンもきれいになった(図8)。

同様に円錐角膜用HCLとして, レンズの周辺部を非球面ではなく, マルチカーブにしたレンズもある⁶⁾(図9)。以下に株式会社日本コンタクトレンズのROSE K™の処方例を提示する。

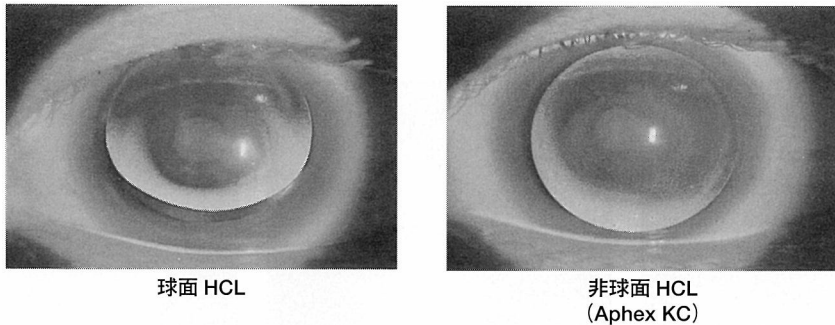


図8 円錐角膜用非球面 HCL の処方例 (フルオレセインパターンの比較)

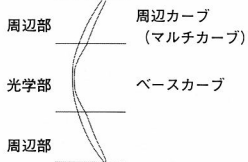
円錐角膜用マルチカーブ HCL
(ROSE K™)

図9 円錐角膜用マルチカーブ HCL

症例5 (円錐角膜用マルチカーブ HCL の処方例)

28歳, 男性 (左眼)

VS = (0.4 × 球面 HCL)

7.20 mm / -7.50 D / 9.5 mm

- ・強い異物感
- ・上方視, 側方視, 強い瞬目による
レンズのずれ(+), 脱落(+)
- ・長時間のレンズの装用が困難

図10 PKSで撮影したマイアー像
角膜中央および周辺部にリングの歪みを認める。

症例5も球面 HCL では強い異物感, レンズのずれ, 脱落がひどくて, 長時間の装用が困難であった (図10)。球面 HCL は正面視や上方視では比較的上手くフィットしていたが, それ以外の方向ではレンズ下に空気が入ってレンズはすぐに脱落した。マルチカーブ HCL を装着すると, レンズの安定性は増し, フルオレセインパターンもきれいになった (図11)。

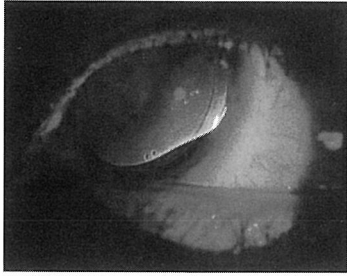
このように円錐角膜用に開発された HCL では, 円錐頂点部および周辺部のフルオレセインパターンが改善し, 良好なセンタリングと動きが得られる。そのためレンズのずれや脱落が少なくなり, 異物感も軽減し, 装用時間が延長する。これまで, 角膜移植術の適応と考えられた症例であっても, これらの CL を処方して, レンズの装用が可能になった症例は数多くある。

一方, 円錐角膜の患者に球面 HCL を上手くフィットさせると角膜上皮障害をほとんど生じることなく長時間装用が可能になることから, 通常の角膜に対しても, 同じようなフルオレセインパターンが得られるような内面デザインを考案しようという発想のもとに開発されたレンズがある (図12)。株式会社サンコンタクトレンズのツインベル II を装用することで安定したフィッティングが得られ, 装用感が改善した症例も数多くある⁷⁾ (図13)。

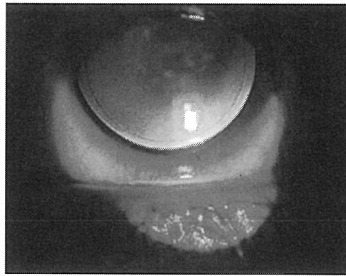
4. 球面収差の矯正

現在市販されている多くの SCL は球面レンズであるが, 球面レンズは光学的にも必ずしも最良な曲面ではない。物体から出た光は球面レンズでは1点に集まらない場合があり, その結果, 同心円状にぼけた像になることがある。これを球面収差というが, 非球面レンズではこの球面収差を軽減することができる。これまで市販されていた主な非球面 SCL はすべて従来型のレンズであったが, 今年になって2週

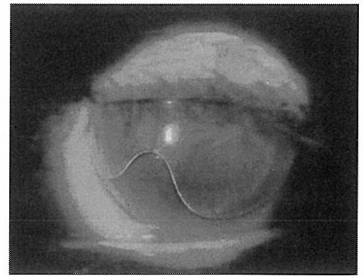
球面 HCL



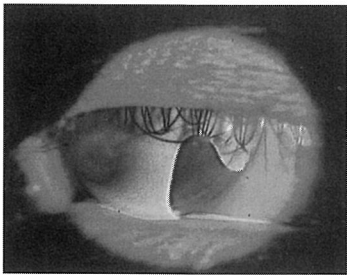
右上方視



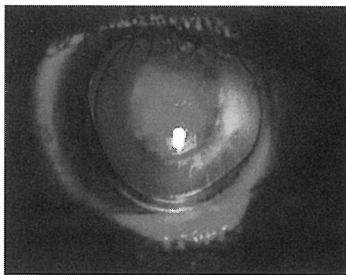
上方視



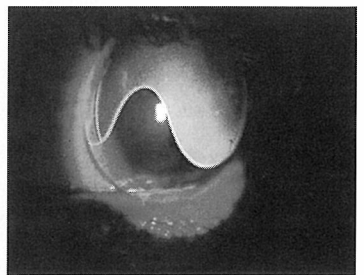
左上方視



右方視

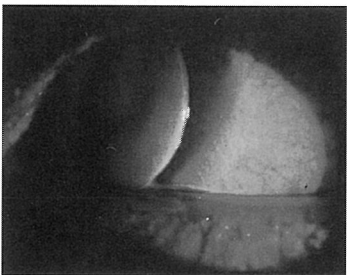


正面視

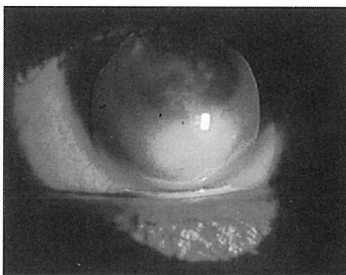


左方視

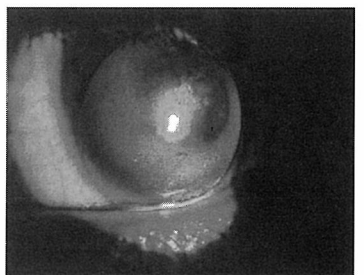
円錐角膜用マルチカーブ HCL



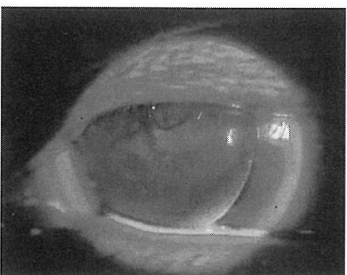
右上方視



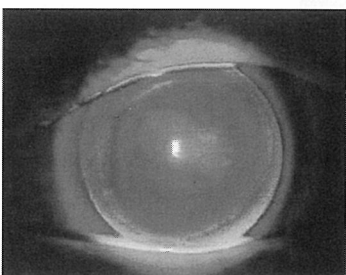
上方視



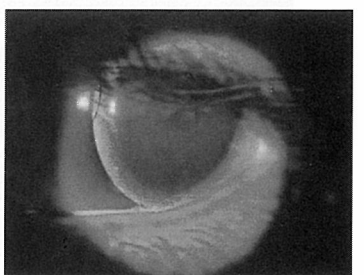
左上方視



右方視



正面視



左方視

図11 円錐角膜用マルチカーブ HCL の処方例 (フィッティングの比較)

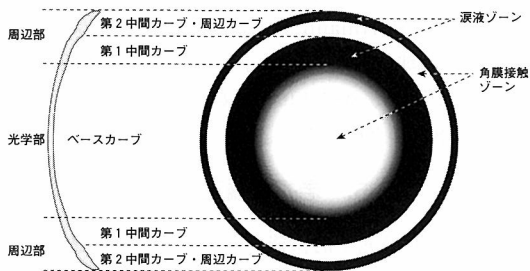


図12 マルチカーブHCL

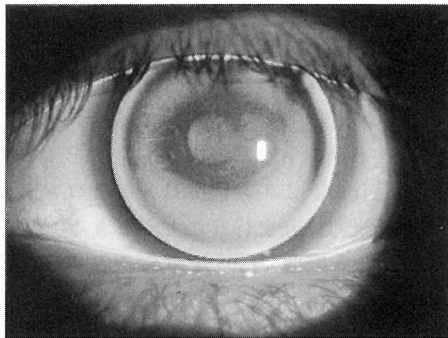


図13 マルチカーブHCLの処方例（フルオレセインパターン）
安定したフィッティング，良好なレンズ下の涙液交換，装着感の改善が得られた。

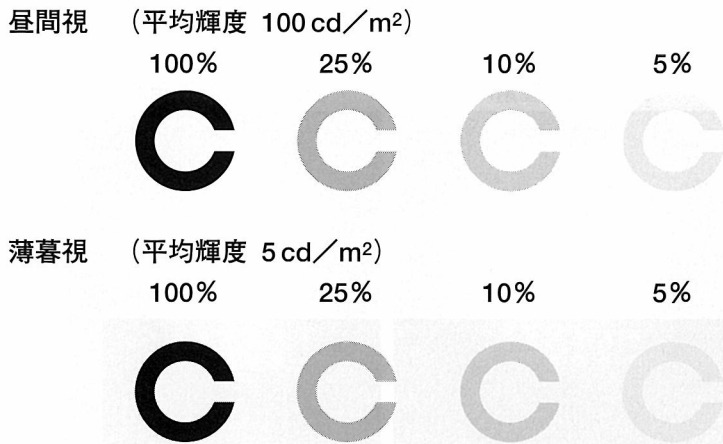


図14 照度とコントラスト比

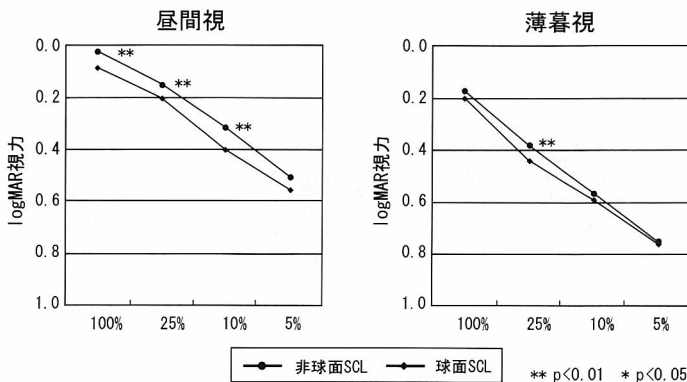


図15 球面SCLおよび非球面SCLのコントラスト感度視力（31名60眼）
等価球面度数：-1.00~-8.00D（-4.67±2.15D）

間頻回交換型のレンズが発売された。ロート製薬株式会社製のロート i.Q.14 アスフェリックについて臨床試験を行ったので、その結果を以下に記す。対象者に素材の同じ球面 SCL と非球面 SCL をそれぞれ装着させて、コントラスト感度視力検査装置を用いて遠方視力を測定した。この装置では照度とコントラスト比を変えて視力検査を行うことができる (図14)。昼間視に相当する照度では、球面 SCL に比べて非球面 SCL の方がコントラスト比 100%、25%、10% で有意に視力は高い値を示した。薄暮視に相当する照度では、球面 SCL に比べて非球面 SCL の方がコントラスト比 25% で有意に視力は高い値を示した (図15)。更に、これらのレンズの矯正効果を他覚的に調べるために Hartmann-Shack 波面センサーで波面収差を測定した。図16に示す症例では球面 SCL 装着時の

Hartmann 像は中央部の波面が相対的に進んでおり、正の球面収差があることが予想されたが、非球面 SCL 装着時の Hartmann 像では軽減した。また、定量的解析では球面収差の値を示す Zernike 係数 C_{40} は球面 SCL 装着時が $0.070 \mu\text{m}$ に対して非球面 SCL 装着時は $0.018 \mu\text{m}$ と軽減した。

5. 老視の矯正

遠近両用 CL は光学的機能としては交代視型と同時視型に分けられる。形状としてはセグメント型と同心円型に、焦点は二重焦点のものと累進多焦点 (累進屈折力) のものに分けられる⁸⁻¹⁰⁾ (図17)。

1) 遠近両用 HCL

(1) 交代視型、セグメント型

遠方視の際はレンズの上方の遠用光学部を、近方

症例 44歳女性

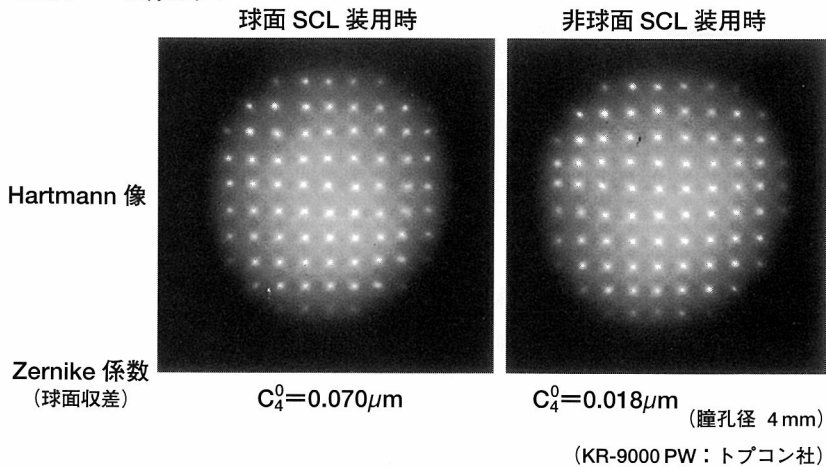


図16 球面 SCL および非球面 SCL の装着時の波面収差
非球面 SCL の装着により球面収差は軽減した。

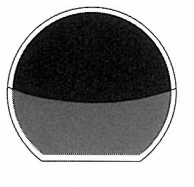
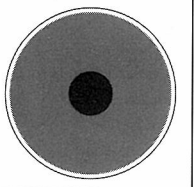
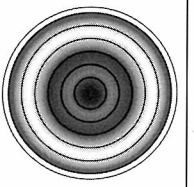
			
光学的機能	交代視型		同時視型
形状	セグメント型	同心円型	
焦点	二重焦点		累進多焦点

図17 遠近両用 CL の種類

視の際はレンズの下方の近用光学部を使って物を見る(図18)。

症例6 (遠近両用 HCL (交代視型, セグメント型)の処方例)

48歳, 女性

単焦点 HCL

R: 7.80 mm / -2.50 D / 8.8 mm

L: 7.80 mm / -2.50 D / 8.8 mm

遠方

近方

VD = (1.2 × HCL) VD = (0.2 × HCL)

VS = (1.2 × HCL) VS = (0.3 × HCL)



遠近両用 HCL (交代視型, セグメント型)

R: 7.75 mm / -2.50 D / +2.50 D / 9.4 mm / -0.5 mm

L: 7.75 mm / -2.50 D / +2.50 D / 9.4 mm / -0.5 mm

遠方

近方

VD = (1.2 × HCL) VD = (1.0 × HCL)

VS = (1.2 × HCL) VS = (1.0 × HCL)

症例6は通常の球面 HCL では遠方はよく見えていたが、近方の視力は0.2~0.3であった。遠近両用 HCL を使用することで遠近ともによく見えるようになった。

(2) 交代視型, 同心円型

中央部が遠用光学部で周辺部が近用光学部の二重焦点レンズである。遠方視の際はレンズの中央部で、近方視の際はレンズの周辺部で見ることによってそれぞれ鮮明な像が得られる(図19)。

(3) 同時視型, 同心円型

同心円型であっても、累進多焦点の遠近両用 HCL は同時視型として働く。同時視型では遠方と近方の像が同時に網膜に結像されるが、脳が必要な像を選択する(図20)。交代視型に比べるとやや像の鮮明度は落ちるが、数多くの商品が市販されており、上手くフィットさせると患者の満足度は高く、他のタイプのレンズに比べて処方成功率も高い。

症例7 (遠近両用 HCL (同時視型, 同心円型)の処方例)

48歳, 女性

R: 7.65 mm / +1.50 D / 8.8 mm

L: 7.70 mm / +2.25 D / 8.8 mm

遠方

近方

VD = (1.2 × HCL) VD = (0.2 × HCL)

VS = (1.2 × HCL) VS = (0.3 × HCL)



遠近両用 HCL (同時視型, 同心円型)

R: 7.10 mm / -1.75 D / +2.50 D / 9.2 mm

L: 7.10 mm / -1.25 D / +2.50 D / 9.2 mm

遠方

VD = (1.2 × HCL)

VS = (1.2 × HCL)

近方

VD = (0.8 × HCL)

VS = (0.8 × HCL)

症例7は通常の球面 HCL では近方はあまり見えていなかったが、遠近両用 HCL を使用すると遠近ともに良好な視力が得られた。

2) 遠近両用 SCL

遠近両用 SCL はそのほとんどが同時視型の同心円型である。二重焦点レンズではレンズの中心部が遠用光学部、周辺部が近用光学部のものと、逆にレンズの中心部が近用光学部、周辺部が遠用光学部のものがある。同様に累進多焦点もレンズの中心部が遠用光学部、周辺部が近用光学部のものと、逆にレンズの中心部が近用光学部、周辺部が遠用光学部のものがある⁸⁻¹⁰⁾(図21)。

これら様々なレンズデザインのなかから、各症例に合ったものを選択することが大切である。2週間頻回交換型レンズとしては、2ウィークアキュビュー®バイフォーカルとフォーカス®プログレッシブがある。2ウィークアキュビュー®バイフォーカルは中心が遠用の二重焦点レンズであるが、同心円状に遠、近、遠、近、遠の五重構造になっている。フォーカス®プログレッシブは中心が近用の累進多焦点レンズである(図22)。

症例8 (2週間頻回交換遠近両用 SCL の処方例)

51歳, 女性

R: 8.7 mm / -4.25 D / 14.0 mm

L: 8.4 mm / -4.25 D / 14.0 mm

遠方

近方

VD = (1.0 × SCL) VD = (0.4 × SCL)

VS = (1.0 × SCL) VS = (0.3 × SCL)



遠近両用 SCL (2ウィークアキュビュー®バイフォーカル)

R: 8.5 mm / -4.50 D / +2.00 D / 14.2 mm

L: 8.5 mm / -4.50 D / +2.00 D / 14.2 mm

遠方

近方

VD = (1.2 × SCL) VD = (0.6 × SCL)

VS = (1.2 × SCL) VS = (0.6 × SCL)

遠近両用 SCL (フォーカス®プログレッシブ)

R: 8.4 mm / -4.25 D / +2.50 D / 14.0 mm

L: 8.4 mm / -4.25 D / +2.50 D / 14.0 mm

遠方

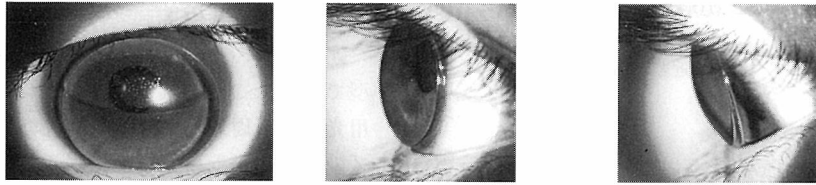
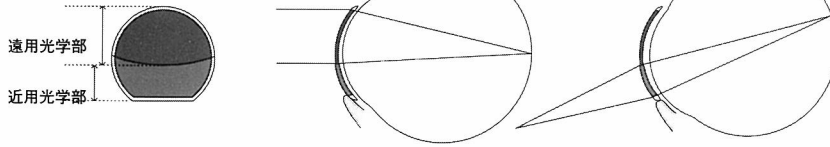
近方

VD = (1.2 × SCL) VD = (0.7 × SCL)

VS = (1.2 × SCL) VS = (0.7 × SCL)

症例8はこれまで、通常の球面 SCL では近方はあまり見えていなかったが、遠近両用 SCL を使用する

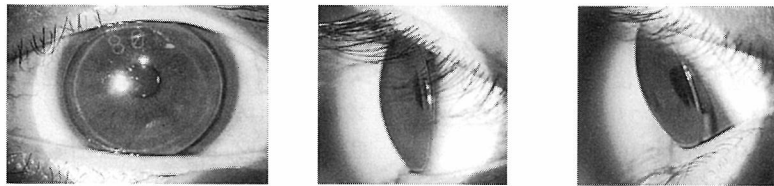
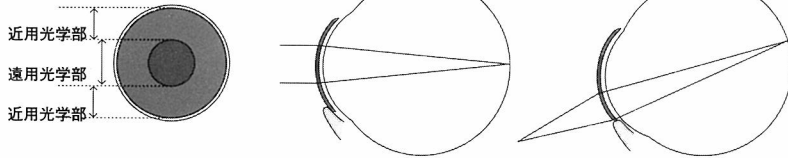
二重点（上方遠用・下方近用）



HCL（モア, アイミーバイフォーカル II）

図18 遠近両用 HCL（交代視型, セグメント型）

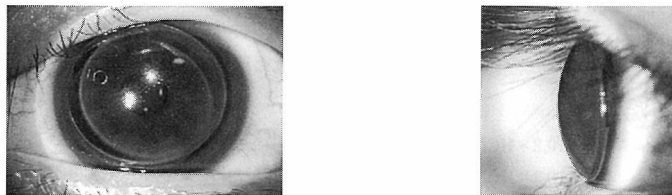
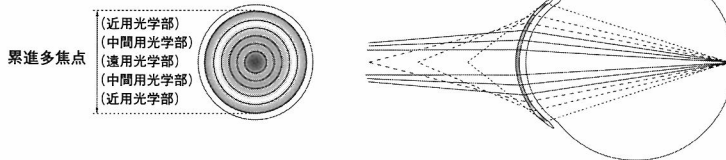
二重点（中心遠用・周辺近用）



HCL（メニフォーカル®Z）

図19 遠近両用 HCL（交代視型, 同心円型）

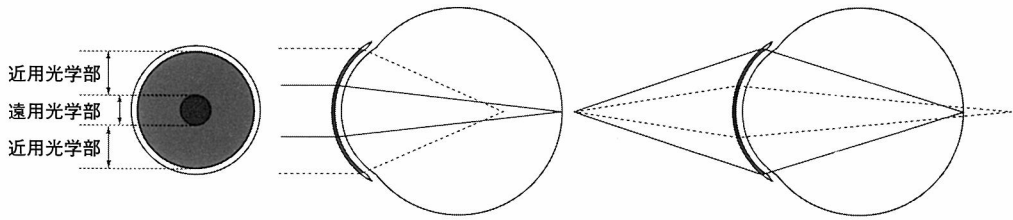
累進多焦点（中心遠用・周辺近用）



HCL（クレール®, クレール DX コンフォール, プレリーナ®, エイコーマルチ-1, プラスビュー, シードエキスパート, シードマルチフォーカルO₂）

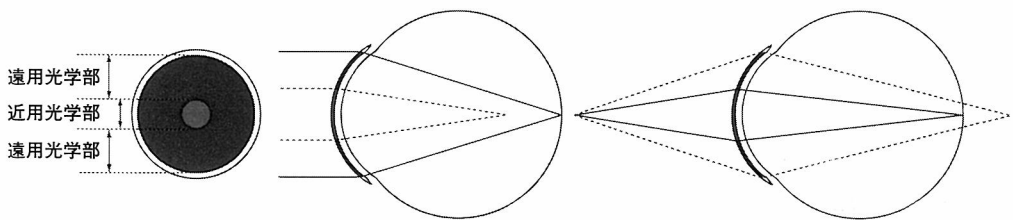
図20 遠近両用 HCL（同時視型, 同心円型）

二重焦点（中心遠用・周辺近用）



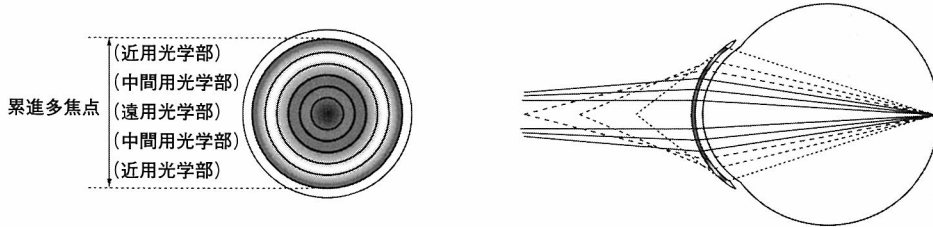
SCL（2ウィークアキュビュー®バイフォーカル, フォービュー®）

二重焦点（中心近用・周辺遠用）



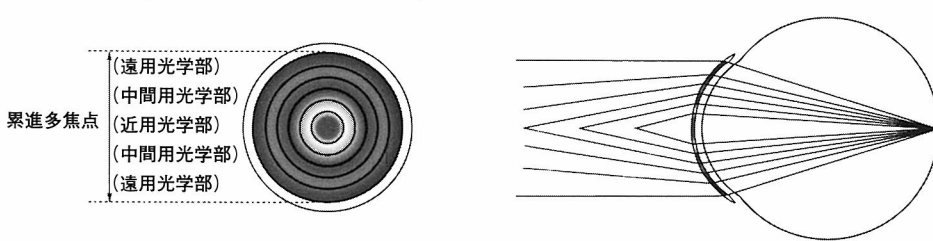
SCL（アイミーバイフォーカルソフト, メニフォーカルソフト®S）

累進多焦点（中心遠用・周辺近用）



SCL（ボシュロムバイフォーカル, HOYA マルチビュー）

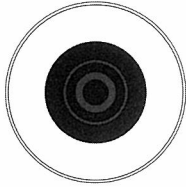
累進多焦点（中心近用・周辺遠用）



SCL（フォーカス®プログレッシブ）

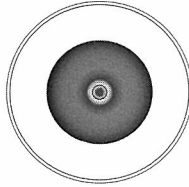
図21 遠近両用 SCL（同時視型，同心円型）

2ウィークアキュビュー®
バイフォーカル



二重焦点 (多重同心円型)
中心遠用・周辺近用

フォーカス®プログレッシブ



累進多焦点
中心近用・周辺遠用

図22 2週間頻回交換遠近両用 SCL のデザイン

ことによって近方が見えるようになった。

6. おわりに

ここ数年の CL の素材，デザイン，製法の進歩には目覚ましいものがある。これに伴い CL の装用人口も増えてきたが，とくにディスプレイ SCL と頻回交換 SCL の需要が増えてきた。また，非球面レンズ，トーリックレンズ，マルチカーブレンズ，遠近両用レンズなど付加価値の高いレンズも登場し，屈折異常や老視に対して有効な矯正手段となってきた。現在はまだ厚生労働省の承認を得ていないが，今後発売が予想される CL としてシリコンハイドロジェル SCL がある。これには終日装用タイプと30日連続装

用タイプがある。その他に30日連続装用としては高酸素透過性 HCL もある。更に，オルソケラトロジー HCL もこれから治験が行われる。近い将来，我々もこれらのレンズを処方する機会が増えてくると思う。

文 献

- 1) 梶田雅義：コンタクトレンズ診療最前線．湖崎 克，西信元嗣，加藤桂一郎編，コンタクトレンズ処方の要點 トーリックコンタクトレンズ，23-30，金原出版，東京，1996.
- 2) 植田喜一：トーリックレンズ．日コレ誌 40: 179-188，1998.
- 3) 植田喜一：トーリックレンズ．日コレ誌 42: S17-S24，2000.
- 4) 植田喜一：トーリックレンズの処方．日コレ誌 44: 113-124，2002.
- 5) 植田喜一：トーリックソフトレンズ．あたらしい眼科 19: 443-456，2002.
- 6) 掠野洋和，片上千加子：円錐角膜に対する ROSE K™ の治療成績．日コレ誌 45: 86-91，2003.
- 7) 植田喜一：新しい多段カーブハードコンタクトレンズの試作．日コレ誌 46: 31-34，2004.
- 8) 植田喜一：遠近両用コンタクトレンズの処方．田野保雄，濱野 孝編，月刊眼科診療プラクティス 77，涙液からみたコンタクトレンズ処方，46-51，文光堂，東京，2001.
- 9) 植田喜一：遠近両用コンタクトレンズの処方．視覚の科学 23: 69-77，2002.
- 10) 植田喜一：遠近両用ソフトコンタクトレンズの特性．あたらしい眼科 18: 435-446，2001.

内・外斜位と眼鏡矯正

近江源次郎

大阪市（近江眼科クリニック）

Spectacle Correction in Patients with Esophoria or Exophoria

Genjiro Ohmi

Osaka City (Ohmi Eye Clinic)

小児の眼鏡矯正としては、調節介入をなるべく防ぐために調節麻痺薬点眼下での他覚的屈折検査を参考に行う必要があるが、眼位を配慮して、内斜位（視）にはできるだけ（十）側に寄せた屈折矯正を、外斜位（視）にはできるだけ（一）側に寄せ、遠視ならば随意遠視を働かせるように屈折矯正することが原則となる。大人の眼鏡矯正では、職業や日常生活を円滑に行うことが目的であるため、視覚発達を目的とする幼児に対する処方とは異なり、上記の原則は必ずしもあてはまらない。眼鏡処方にあたっては、トライアルレンズを用いた念な装用テストを行い、眼の疲れを感じさせない用途に合った眼鏡であるか否かを確認する必要がある。

（視覚の科学 24: 117-120, 2003）

キーワード：眼鏡矯正，斜位，眼精疲労，多焦点レンズ，プリズムレンズ

Spectacle correction in children should be based on the objective refraction determined under cycloplegic condition with the effect of accommodation minimized, but one must consider the deviation of the visual axes when determining the prescription for refractive errors since the purpose of spectacle correction in children is to stimulate visual development; in principle, patients with esophoria (esotropia) should be prescribed with the maximum plus or the minimum minus that they will accept, and patient with exophoria (exotropia) should be prescribed with the maximum minus or the minimum plus so that, if they have hyperopia, their accommodative ability for distance vision will be used and stimulated. In contrast, spectacle correction in adults is not for visual development but for elimination of the vision problems interfering with normal activities in business and daily life, and therefore the principle mentioned above is not always applicable that they will accept and to correct refraction that it is possible to work voluntary farsightedness if farsighted become a principle. It differs from the formula to applied. Based on thorough examinations for fitting of trial lenses, patients should be prescribed with glasses that are suitable for intended use without causing eyestrain.

(Jpn J Vis Sci 24: 117-120, 2003)

Key Words: Spectacle correction, Strabismus, Athtenopia, Multifocal glasses, Prism lens

1. はじめに

眼鏡処方とは小児と大人ではその目的がやや異なる。小児では、視覚発達時期にある場合はそれをまず優先させるように処方する必要があり、常用が基本と

なる。大人では職業や日常生活を円滑にするための快適さに主眼がおかれることになる。

2. 小児の眼鏡矯正

調節介入をなるべく防ぐために調節麻痺薬点眼下

別刷請求先：550-0002 大阪市西区江戸堀 1-24-18 近江眼科クリニック 近江源次郎
(2003年11月5日受理)

Reprint requests to: Genjiro Ohmi, MD Ohmi Eye Clinic
1-24-18 Edobori, Nishi-ku, Osaka 550-0002, Japan
(Received and accepted November 5, 2003)

での他覚的屈折検査を参考に行う必要があるが、眼位を配慮して、内斜位（視）にはできるだけ（+）側に寄せた屈折矯正を、外斜位（視）にはできるだけ（-）側に寄せ、遠視ならば随意遠視を働かせるように屈折矯正することが原則となる³⁾。調節麻痺薬点眼下での屈折検査では、調節麻痺薬としてアトロピンまたはサイプレジン[®]を用いる²⁾。初診時に使用する調節麻痺薬としては、サイプレジン[®]が適している²⁾。初診時の検査で、更に精密な屈折検査が必要なものには、アトロピンを処方する。ただ、通常の検査ではアトロピン以外はほとんど問題ないが、アトロピン点眼は未熟児や新生児に使用する際、とくに副作用に注意が必要である。その対策として、頻回点眼しないこと、点眼後涙嚢部の皮膚を圧迫して全身への吸収を防ぐこと、またアトロピンは、処方して自宅で点眼するために、副作用が発現したら点眼を中止する指示を徹底することが大切である²⁾。眼鏡処方時期は原則として、調節麻痺薬の効果消失後に、自覚検査および装用試験を行って眼鏡を処方する。調節内斜視・強度遠視および乱視は、アトロピンの効果が十分あるうちに眼鏡の装用を開始するとよい場合もある。処方した眼鏡は定期的再検査（主に検影法や overrefraction）が必要である。

1) 外斜位（視）と眼鏡矯正

外斜位の屈折異常の分布が正常人と同じであることより、近視が外斜位（視）の原因とは考えられていないが、一般に近視を放置すると調節性輻湊が低下し、とくに近見では正常人でも外斜位となることが報告されている³⁾。また、間歇性外斜視では近視矯正をしていないと斜視度が増加し外斜位を保ち難くなることで、斜視の頻度が増加することや、遠視を伴う間歇性外斜視では、完全矯正眼鏡を用いると外斜視になりやすく、低矯正つまり（-）側に寄せた眼鏡に変更すると、外斜位を保ちやすいことが知られている³⁾。部分調節性内斜視術後に外斜視を生じたときには完全矯正眼鏡を、低矯正つまり（-）側に寄せた眼鏡に変更すると、外斜視が軽減することがある。

2) 内斜視と眼鏡矯正（遠視）

一般に2D以上の遠視があれば、調節性内斜視に限らず、どんな内斜視であれ眼鏡の効果を調べる必要がある。調節性内斜視のうちで、屈折性調節性内斜視（正常AC/A）では遠視完全矯正眼鏡により、遠見時の内斜視が正位ないし内斜位となるが、近見に

わずかな内斜視が残る症例が1/3に認められる³⁾。ただその場合も、乳幼児では遠見視力より眼位の矯正が優先されるため、二焦点眼鏡は作製せずに、遠視を過矯正にして近見時に正位となる眼鏡を装用させるようにする必要があるが、非屈折性調節性内斜視（高AC/A）では+3.0D過矯正二焦点眼鏡が必要で、二焦点眼鏡装用で遠見とともに顕性の斜視がみられなくなる。部分調節性内斜視では遠視完全矯正眼鏡を装用することで遠見眼位は軽減するが、約10Δ以上の内斜視が残る。このため両眼視ができず斜視眼は抑制され単眼視のままであり、残余内斜視へは手術矯正を行う必要がある。

3) 内斜視と眼鏡矯正（近視）

乳児内斜視や後天性の非調節性内斜視の3~5%に近視が伴っているとの報告がある⁴⁾。中等度以上の近視があれば、遠視の場合と同様に矯正眼鏡が必要である。近視眼鏡で眼位が増悪する場合は眼鏡装用下の眼位異常が手術対象となる。

3. 大人の眼鏡矯正

大人では、最近の visual display terminal（以下VDT）作業を代表とする視覚負荷の大きな仕事の増加に伴い、眼精疲労を訴える症例が増加しているが、とくに内・外斜位を伴う症例ではその傾向は強く眼科を受診する場合も多い。内・外斜位を補正する目的もしくは、上下偏位を合併する場合は、その完全矯正を目的としたプリズム加入眼鏡処方が、眼精疲労の軽減に有用であることも多い。しかし、プリズム処方は像の歪みを生じるので、両眼に3Δずつが限界となる。また、適正な乱視加入も必要となることも多く、基本的に完全矯正に近づけるようにするが、乱視が強い場合や左右眼で軸が異なる場合には、眼鏡でその乱視を完全矯正すると装用できないこともあるため、両眼開放下での適正矯正度数を求めることが重要である。VDT作業者に作業眼鏡として累進レンズ眼鏡を処方する必要がある場合は、遠・近眼鏡ではなく、近用部が広く眼精疲労の軽減には役立つことが多い中・近や近・近眼鏡が処方されている。しかし最近では、近用部が広い遠・近眼鏡も開発されており、眼鏡処方にあたっては、その処方の目的を明確にしてレンズを選択することが重要で、1回きりの測定で満足せずに、何回かの測定とトライアルを経て慎重に度数の決定をする必要がある。

1) 外斜位(視)と眼精疲労

臨床上において、眼精疲労を訴えることの多い眼位異常としては、間歇性外斜視がよく知られている。間歇性外斜視において眼精疲労を訴えることが多い理由は、眼位ずれを気にかけての精神的なものと、正位にするための調節や輻湊の努力の必要性などから生じやすいと説明されている⁵⁾が、実際のところいまだに判然としていない。間歇性外斜視では、眼精疲労の改善が、治療(手術またはプリズム処方)目的の主な理由の一つであるが、眼精疲労の訴えは様々であり、他覚的にその眼精疲労を把握することは困難といえる。以前我々は、VDT 検診時に顕性斜視(遠見時)を認めないVDT 作業員211名(35.2±7.3歳)を対象として、眼精疲労と遠見眼位(5m)および近見眼位(50cm)との関係を調べた結果、眼精疲労を訴える群では、近見での外斜を示すものが多く、眼精疲労と近見外斜(輻湊不全)との関連性があると報告した⁶⁾。また、間歇性外斜視患者14名とエイジマッチした正常者20名を対象として、プリズム基底外方負荷に伴う近視化と縮瞳化の程度に違いがあるか否か検討した結果、間歇性外斜視では正常者に比較して、近視化および縮瞳化の程度が強く生じる傾向を認めた。これらより、外斜視から正位にするための調節や輻湊の努力の必要性が、眼精疲労の原因となる可能性を示唆した⁷⁾。前述したとおり、眼精疲労を伴う外斜位に対しては、ベースアウトプリズム加入眼鏡が有効なことも多いが、プリズム処方は像の歪みが生じるので、両眼に3Δずつが限界となる。また、眼精疲労の軽減には適正な乱視加入も必要となることも多く、基本的に完全矯正に近づけるようにするが、乱視が強い場合や左右眼で軸が異なる場合には、眼鏡でその乱視を完全矯正すると装用できないこともあるため、両眼開放下での適正矯正度数を求めることが重要となる。更に、両眼開放下での適正矯正において、上下偏位を合併する場合はその完全矯正を目的とした上下プリズム加入の眼鏡処方が眼精疲労の軽減に有用であることも少なくない。

2) 近用眼鏡の選び方

近用眼鏡を処方するときは、患者の安静時における屈折状態、残存する調節力、および生活や社会環境を十分に把握し、その処方目的を明らかにする必要がある。近用眼鏡は、大きく累進レンズ眼鏡、単焦点眼鏡、二重(三重)焦点眼鏡に分けられるが、

その適応を以下に示す。

(1) 累進レンズ眼鏡

最近の遠近両用眼鏡は大半が累進レンズになってきた。累進レンズ眼鏡は使いこなせるようになると大変便利な眼鏡であるが、マスターするのに時間を要する場合も多い。それは累進レンズ特有の欠点が存在するからであるが、その欠点とは、像の歪み(主に非点収差による)、像のゆれ(主にプリズム作用による)、レンズ視野の狭さ(周辺部の存在による)、遠見⇔近見のときの眼球回旋角度の大きいこと(累進部の長さによる)などが挙げられる。処方にあたりトライアルレンズを用い入念な装用テストを行い、眼の疲れを感じさせない用途に合った眼鏡であるか否かを確認する必要がある。累進レンズ眼鏡ではとくに眼鏡枠が正しい状態で装用されることが大切で、不具合がある場合には担当した眼鏡店と密に連絡をとり、眼鏡枠の調整を依頼するなど、患者が快適に装用できるように努めなければならない⁸⁾。

(2) 単焦点眼鏡

近見対象が固定的である場合や、不同視や乱視が強い人や神経質な人などで累進レンズの不向きな場合にすすめる。

(3) 二重(三重)焦点眼鏡

最近処方する機会は大変少なくなってきたが、遠方がある程度見ながら、近見時に広い視野を必要とする場合や、線を水平に動かすことが多い場合や、遠近両用眼鏡を初めて作る年齢が高く(55歳以後)、累進レンズがなじまない場合にすすめる。

4. ま と め

小児と成人では眼鏡処方の目的が異なるが、小児では調節麻痺薬点眼下での他覚的屈折検査を参考に行う必要があり、内斜位(視)にはできるだけ(+)側に寄せた屈折矯正が、外斜位(視)にはできるだけ(-)側に寄せるような屈折矯正が原則となる。眼鏡処方の際は、非調節麻痺下での自覚的屈折検査および装用試験を行って眼鏡を処方する。処方した眼鏡は定期的再検査(主に検影法やoverrefraction)が必要である。

眼精疲労の訴えの強い成人の眼鏡処方では、乱視をはじめ調節異常や眼位異常(輻湊不全を含む)がかかわっていることも少なくなく、その補正(とくに上斜位)が必要になる。最終的な度の決定には両眼開放下での検査を行い、過矯正や必要以上の低矯

正を避けることが重要である。近用処方では使用目的を明確に把握するとともに、利点と欠点を納得してもらうようにする。装用試験を十分行い、場合によっては1回きりの測定で満足せずに、何回かの測定とトライアルを経て慎重に度数の決定をすることが重要である。

文 献

- 1) 湖崎 克：弱視・斜視と眼鏡矯正．あたらしい眼科 7: 973-978, 1990.
- 2) 久保田伸枝：調節麻痺薬の使い方．丸尾敏夫編，眼科診療プラクティス9，屈折異常の診察，97，文光堂，東京，1995.
- 3) 中川 喬：6. 屈折異常と斜視．丸尾敏夫編，眼科診療プラクティス9，屈折異常の診察，62-65，文光堂，東京，1995.
- 4) Noorden GK: Binocular Vision and Ocular Motility. 119, CV Mosby, St Louis, 1990.
- 5) 久保田伸枝：外斜視．丸尾敏夫編，眼科 Mook 10, 斜視・弱視，85-94，金原出版，東京，1979.
- 6) 近江源次郎，不二門 尚，中島伸子，中村芳子：VDT 作業者の眼精疲労と眼位．眼紀 47: 1269-1271, 1996.
- 7) 近江源次郎：眼精疲労と眼位との関連性について．大阪大学医学雑誌 48: 307-317, 1996.
- 8) 梶田雅義：2. 眼鏡処方の適応とその手順．前田直之，田野保雄編，眼科診療プラクティス95，屈折矯正法の正しい選択，74-77，文光堂，東京，2003.

白内障術後の眼鏡矯正

八子 恵子

福島県立医科大学医学部眼科学講座

Spectacle Correction after Cataract Surgery

Keiko Yago

Department of Ophthalmology, Fukushima Medical University, School of Medicine

白内障術後の眼鏡矯正を、小児の先天白内障術後と成人の眼内レンズ (IOL) 挿入眼の二つに分けて述べた。小児では、術後の視力の発達を促すために、月齢や年齢を考慮した度数の決定が必要である。また、発育に伴い屈折が変化するため、常に屈折検査を行い眼鏡の適否を検討すべきである。更に、成長とともに遠近両用の眼鏡の必要性やコンタクトレンズへの変更など、長年にわたっての管理や指導を行っていく必要がある。一方、成人では近年、白内障術後は IOL 挿入眼となることがほとんどであり、術後の屈折値は術前の目標屈折値に左右される。しかし、それがいかようであれ、遠近とも明視できることはなく、個々の症例の要求に沿いながらも、手術の結果を十分に生かすために眼鏡矯正を的確に行うことの重要性を強調した。

(視覚の科学 24: 121-124, 2003)

キーワード：眼鏡矯正, 屈折の変化, 眼内レンズ挿入眼, 視力の発達, 弱視

Key Words: Spectacle correction, Refractive change, Pseudophakia, Development of visual acuity, Amblyopia

1. はじめに

白内障手術手技の進歩は目覚ましく、近年は白内障手術といえば超音波水晶体乳化吸引術と眼内レンズ (以下 IOL) 挿入を意味することが多く、患者は術後の分厚い眼鏡やコンタクトレンズ (以下 CL) から解放された。しかし、それでも術後には軽度の屈折異常や、調節能の欠如から、不自由のない視的生活をおくるためにはなんらかの追加屈折矯正が必要である。更に、小児の白内障とくに先天白内障では、術後にも屈折異常弱視や不同視弱視が発生する危険性があり、その屈折矯正の良否が視力予後を決定するといっても過言ではない。

白内障術後の屈折矯正法には眼鏡と CL があるが、本項では眼鏡矯正に限って解説する。

2. 白内障術後の眼屈折

白内障術後の眼は、大きく IOL 非挿入眼と挿入眼

(IOL 眼) に分けられ、前者の多くは高度の遠視あるいは遠視性乱視であり術後には必ず屈折矯正が必要である。これに対し後者では、術前に設定された目標屈折値に近似し、多くは正視か軽度の屈折異常となる。この場合でも、遠近ともに明視するためには、なんらかの屈折矯正が必要であるが、症例によっては不便を感じないこともある。

白内障術後の眼鏡矯正については、視力の発達と成長に伴う屈折値の変化を意識すべき小児と成人で内容が異なるため、以下に両者を分けて記述する。

3. 小児の白内障と術後眼鏡矯正

小児の白内障は視力の発達を障害する代表的疾患であり、術前・後ともにそれを意識した診療が必要である。また、小児の白内障には出生直後より高度の先天白内障と、はじめは軽度で次第に高度になる間に視力の発達が望める発達白内障があるが、ここでは早期手術が必要な先天白内障を対象として話を

別刷請求先：960-1295 福島市光が丘1 福島県立医科大学眼科学講座 八子恵子
(2003年12月2日受理)

Reprint requests to: Keiko Yago, MD Dept of Ophthalmol, Fukushima Medical Univ, School of Med
1 Hikarigaoka, Fukushima 960-1295, Japan
(Received and accepted December 2, 2003)

を進める。

1) 視力の発達と先天白内障

視力の発達には、その感受性期間(図1)¹⁾内に黄斑部にピントの合った結像(視覚刺激)が必要であることは周知のことである。したがって、先天白内障は存在そのものが遮蔽弱視の原因になり得るのみならず、術後の高度遠視や片眼性での高度遠視性不同視、調節能欠如などが視力の発達を妨げる要因になる。

2) 先天白内障の手術

先天白内障の手術法としては、2歳以下では経毛様体皺襞部水晶体切除術または経輪部水晶体吸引術に加えて前部硝子体切除術が行われるが、IOL挿入の適応については眼球の発育が著しい時期であることなどから禁忌と考えられている²⁻⁴⁾。

一方、3~6歳の幼児をIOL挿入の適応とするか否かは施設により見解が異なっているが、学童以上については多くの施設で挿入する方向にある。小児に対するIOL挿入の適応についてははまだ議論のあるところであり、他紙に譲りたい。

3) 先天白内障術後の眼屈折とその変化

小児の白内障術後の眼屈折が他の年齢層と異なる点は、術直後の屈折値が眼球の発育に伴って大きく変化(遠視の減少)することである。変化量は0~2、3歳で最も大きい、個々の症例でしかも手術眼が片眼か両眼かでも異なり、ある一定の傾向はあるもののその予測は困難である⁵⁻⁷⁾。しかし通常、眼鏡矯正の対象である両眼性では、両眼の屈折値の変化はほぼ等しく、片眼性でのそれより少ないとされている。

小児に対してIOLを挿入する際には、その度数の選択が大きな問題となる。目標屈折値を視力の発達

を考え近見重視とすると、軽度近視がよいことになる。しかし、発育に伴う屈折値の変化を考慮し、成人に達したときに軽度の近視や正視となることを期待すると、遠視に設定することになる⁸⁾。近年は後者の考えに立って手術直後には遠視とすることが一般的になっているが、その設定値については一定の見解は得られていない。Peterseimら⁹⁾は、表1のような目標屈折値と2.5年後の予測屈折値を報告している。いずれにしても、小児にIOLを挿入するには術後の屈折異常とその変化に見合った追加屈折矯正が必要であることを忘れてはいけない。

4. 先天白内障術後の眼鏡矯正

先天白内障術後の眼鏡矯正は、その適否が視力の予後を左右するため重要であるが、成人に対するように容易ではない。以下にいくつかのポイントを示す。

1) 屈折検査

小児の屈折検査は、3歳以上であれば据え置き型のオートレフラクトメータでの測定が可能であるが、それ以下ではレチノスコープあるいは手持ち型オートレフラクトメータで測定することになる。白内障術後には、調節の介入といった問題は極めて少なく、オートレフラクトメータでの測定でも問題はないが、器械の中をのぞいてくれない例や、眼振がある例なども多く、レチノスコープが有用である。レチノスコピーは眼鏡上で行うことでその眼鏡の適否が判断できるという大きな利点もある(図2)。

前述のように小児の白内障術後には屈折値が変化するため、外来受診日には必ず屈折検査を行い眼鏡度数の適否を検討する。

2) 矯正度数の決定

処方した眼鏡で黄斑部へのピントの合った結像が得られなければ視力の発達を促すことができないため、度数の決定は極めて重要である。

また、乳幼児はその月齢や年齢により視的目標(見たいもの)および距離が異なる。すなわち、3~4

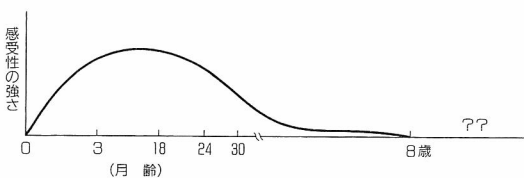


図1 ヒトの視覚の感受性期間(文献1より引用)

表1 小児眼内レンズ挿入眼における屈折値の変化(文献9より改変して引用)

手術時年齢(歳)	症例数	術後屈折値(D)	観察期間(月)	最終屈折値(D)	平均変化量(D/年)
< 2	8	+6.8	29	+0.8	-2.5
2~4	3	+3.2	26	+1.8	-0.8
5~6	6	+0.8	27	-0.8	-0.7
7~8	5	± 0	25	-1.1	-0.5
> 8	8	± 0	32	-0.6	-0.2

カ月程度では抱っこされたお母さんの顔や手に持ったおもちゃなどが目標であり、7~8カ月でははいはいるようになると少し離れたおもちゃやテレビを見るようになるといった具合である。したがって、乳幼児の白内障術後の眼鏡の度数は、測定した屈折値そのままではなく、患児の見たい距離や見るべき距離に見合った度数を加入して決めることになる。月齢による加入度数の目安を著者らは表2のように考えている。

3) 眼鏡枠

小児の白内障術後の眼鏡枠は、レンズが分厚く重たいこともあり、壊れにくくしっかりした軽いものがよいが、反面、できるだけ見た目がよく楽しいものが好まれ、装用継続にもつながる。乳児では、顔が小さく通常の眼鏡枠ではフィットしないこともある。最近ではテンプルおよびモダン部分が厚手のリボン状で頭に巻きつけるように装用するタイプのものなど、工夫がなされている(図3)。

4) 成長に合わせた眼鏡処方

乳幼児期の成長に伴い視的距離や目標が異なることは述べたが、更に年長になると遠近双方ともに明視しなければならない時期がくる。症例にもよるが、小学3~4年生になると黒板も教科書も文字が小さく

なり、一つの眼鏡では間に合わなくなる。患児自身や家族からそのような不便の訴えを聞くこともあるが、患児によっては今まで使用していた遠用の眼鏡を図4のように鼻眼鏡にし、角膜頂点からの距離を離すとともにレンズ中心を下げ、近方視に都合がよいようにしていることがある。このような状態をみたならば遠近両用の眼鏡をすすめる必要がある。前掛けタイプの近用レンズやルーペの使用を好む例もあり、個々に検討が必要である。

また、更に成長するとスポーツや趣味、外見上の悩みなど様々な理由から厚いレンズの眼鏡は嫌がられ、CLと薄い眼鏡の併用へと変更が必要となる。

以上のように、小児の白内障術後の眼鏡矯正は、はじめは視力の発達を最優先に、やがて症例ごとの生活に見合った度や枠などの選択、快適に使用できるものへの変更など、長い期間にわたっての管理が必要である。



図2 レチノスコピー
眼鏡上から行いその適否を判断する。

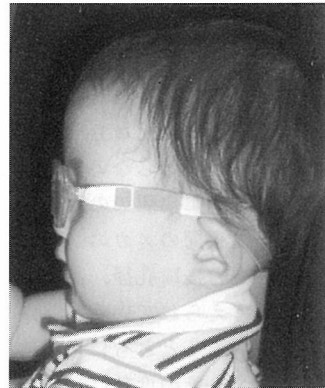


図3 乳児のための眼鏡
テンプルがリボン状で頭に巻きつけるタイプ

表2 手術時月齢による白内障術後眼鏡への加入度数の目安

手術時月齢(ヵ月)	加入度数(D)
3~4	+3
~7・8	+2~3
~12	+1~2
~18	±0~1

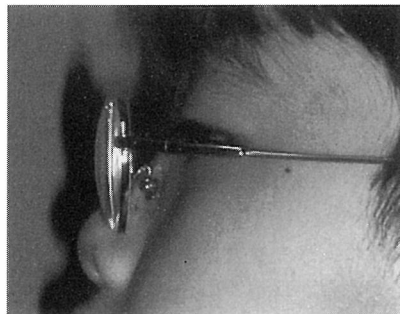


図4 白内障術後眼鏡を鼻眼鏡にし、近見にも利用している例

5) 弱視眼鏡や弱視治療用の眼鏡

白内障術後には全例で良好な視力が得られるわけではなく、手術時期の遅れや他の眼合併症により弱視あるいは低視力となる例がある。このような場合に、単に屈折検査から得られた度の眼鏡だけでは不十分で、文字の拡大を目的とした更にハイパワーなレンズや遮光レンズの処方があることがあり、念頭におくべき事柄と考える。

また、片眼白内障術後で、どうしてもCLが使えない例では、健眼遮蔽時のみ患眼に近見用眼鏡を用いることがある。

5. 成人の白内障術後の眼鏡矯正

1) 成人白内障術後の眼屈折

成人の白内障術後は現在ではそのほとんどがIOL眼である。したがって、術後の眼屈折は術前に設定された目標屈折値に近似する。目標屈折値の設定は、施設により、また患者の職業や趣味、生活様式、術前の屈折値などを参考にして行われ、その多くは軽度の屈折異常か正視である。

2) 成人の白内障術後の眼鏡矯正の要否

術後の屈折値が軽度の屈折異常とくに軽度近視の場合、比較的高齢者では遠近ともそれなりに見えて満足し、眼鏡矯正を必要としない例もある。これには、視的要求度のほかに偽調節の存在も関与していると考えられる。偽調節のメカニズムはいまだに明らかではないが、視力、瞳孔径、乱視、角膜の多焦点性などの関与が考えられている。しかし、偽調節の量は個々の例で異なるとともに他覚的測定は困難であり、眼鏡の要否とその度数は自覚的方法で明視範囲を検査して決定する。

眼鏡矯正の必要性は個々の例で異なるが、ある1施設のIOL眼患者の術後の満足度から眼鏡矯正の必要性を考えた。それによると、遠用眼鏡のみで満足した例は、裸眼遠方視力0.4以下、近方視力0.4以上、屈折値 -1.50 D以上に多く、近用眼鏡のみで満足した例は、裸眼遠方視力0.6以上、近方視力0.6以下、屈折値 -1.50 D以下に多かった。そして、上2者の中間に位置する例では遠近両用を希望することが多い結果であった。

このように大きな目安はあるものの、術後の眼鏡矯正が必要か否かは個々の患者で異なるため、必ず

よく見える度数での装用試をさせ、その要否をたずねることがすすめられる。

3) 成人の白内障術後の眼鏡処方時期

術後どのくらいの期間において眼鏡を処方すべきかも問題である。近年の手術法では、術後の影響が消失し視力が安定するまでの期間も短縮されている。市川によれば、合併症のない小切開手術で視力が1.0以上になるのは、翌日で56%、1週間で87%、1カ月で97%とされ、1カ月後であればほとんどの例で眼鏡処方を行っても問題がないと思われる。もちろん、至急に眼鏡を要する患者には短期間でのレンズの交換の必要性を説明して処方することも可能である。

6. ま と め

白内障術後の眼鏡矯正は、眼屈折、調節の両面からいずれの例でも必要と思われるが、実際に必要か否かは患者によって異なる。しかし、よく見えることを知らずに過ごしている患者も見受けられ、術者あるいは検者としての責任と考える。術後の眼鏡矯正を的確に行って初めて手術が上手くいったといえる。

文 献

- 1) 栗屋 忍：形態覚遮断弱視。日眼会誌 91: 519-544, 1987.
- 2) 不二門 尚, 初川嘉一：小児の眼内レンズの適応について－視機能の観点から－。眼臨 92: 322-325, 1998.
- 3) Wilson ME, Bluestein EC et al: Current trends in the use of intraocular lenses in children. J Cataract Refract Surg 20: 579-583, 1994.
- 4) 矢ヶ崎 悌司, 市川一夫他：感受性期間に眼内レンズ挿入術を試行した小児白内障。眼科手術 12: 359-363, 1999.
- 5) 矢ヶ崎 悌司, 栗屋 忍他：先天白内障術後の屈折変化。臨眼 47: 301-306, 1993.
- 6) 齊藤昌晃, 橋本禎子, 八子恵子：乳幼児における白内障術後の屈折値の変化。眼紀 50: 839-843, 1999.
- 7) 高良由紀子, 紀平弥生他：小児眼内レンズ挿入眼の術後予想屈折度予測－全国小児アンケート調査例から－。日眼会誌 106: 273-280, 2002.
- 8) Spierer A, Desatnik H et al: Refraction status in children after longterm follow up of cataract surgery with intraocular lens implantation. J Pediatr Ophthalmol Strabismus 36: 25-29, 1999.
- 9) Peterseim MW & Wilson ME: Bilateral intraocular lens implantation in the pediatric population. Ophthalmology 107: 1261-1266, 2000.

半自動診断機能をもつ視野計の研究 —ファジィ医療診断におけるアルゴリズム—

鈴木 尚人

株ニデック医療事業部

Research of Perimeter Having Function of Semiautomatic Diagnosis —Algorithm for Fuzzy Medical Diagnosis—

Naoto Suzuki

Medical Div., NIDEK CO., LTD

緑内障などの眼科診断に適した静的視野計ソフトの開発を行うために、今後の視野計測に有効なアルゴリズムを提案する。一番普及率の高い Humphrey 視野計の指標の一つであるトータル偏差確率を用い、ファジィ理論と多変量解析を用いて統計学的に半自動診断を行う。ファジィ理論は確率関数であるメンバシップ関数を設計者が主観で決めるという科学的ではない理由があった。しかし、著者はメンバシップ関数の決定の一部を医療診断において唯一主観的に決定を下せる医師に行わせることにより、ファジィの短所を最大限長所にできることを提案する。アルゴリズムのなかに医師が任意に決定できる変数を作り、統計学的に医師とコンピュータが一緒になって考えていくアルゴリズムを作成する。また、輝度閾値の計測では同じ指標でも必ずバラツキが存在するのでファジィを用い、メンバシップ関数として知覚確率曲線を変換した関数を用いる。

(視覚の科学 24: 125-131, 2003)

キーワード：半自動診断, 視野計, 多変量解析, ファジィ理論

This paper was suggested the semiautomatic diagnosis which was calculated the probability of the total deviation by the algorithm harmonized the fuzzy theory and the multivariate analysis. This fuzzy analysis uses a membership function which is the probability function and has the nonscientific reason that designers must decide the function, but the author suggested that this algorithm could not only make up for its shortcomings but also has advantages if doctors could easily decide the functions. This algorithm can be decided the probability of diagnosis with the doctors if some variables of the functions are decided by them. On the other hand, the measurement of the brightness threshold used the fuzzy theory and the function which changed the probability-of-seeing curve as the membership function because the measurement necessarily existed a scattering.

(Jpn J Vis Sci 24: 125-131, 2003)

Key Words: Semiautomatic diagnosis, Perimeter, Multivariate analysis, Fuzzy theory

1. 緒 言

緑内障などの眼科診断に使用される視野計のソフト

を開発し、より診断しやすいアルゴリズムを作成するため、現状で使用されているストラテジー（視野計のソフトで使用されているプログラム）の評価

別刷請求先：443-0038 蒲郡市拾石町前浜34-14 (株)ニデック医療事業部眼科機器グループ手術機器開発チーム 鈴木尚人 (2004年1月20日受理)

Reprint requests to: Naoto Suzuki Product Development, Ophthalmology Group, Medical Div., NIDEK CO., LTD. 34-14 Maehama, Hiroishi-chō, Gamagori 443-0038, Japan

(Received and accepted January 20, 2004)

と問題点を以下に示す。

1) Humphrey

ソフト：SITA はすべての検査点での正常眼と緑内障のデータと、全測定点に提示された視標に対する反応を基準とし、全測定点の閾値（輝度）を推測する方法である。視野検査の閾値検査（全視標提示位置の視野感度を計測する方法）は測定時間が15～20分と長く、被検者に多大な労力を強いることが問題となっている。SITA の測定時間は、推定値を求めるため、Bracketing 法（視標輝度を 4 dB→2 dB と変化させる、標準的なストラテジー）と比較すると、50～70%の短縮を可能とする¹⁾。しかし SITA より得られたデータは Bracketing 法と比較すると、各検査点の結果が実際よりもよく（暗い視標が見え、障害が少なく）出るので、障害の判定基準を確立することが必要となる^{1, 2)}。また、全視野の 2～5%の範囲が障害される早期変化を捉え得た確率は 5.8～7.8%と極めて低い²⁾などの問題点がある。そのため、長時間の検査に耐えられない患者に使用すること³⁾や Bracketing 法の代替機としての機能を期待することは困難²⁾であるなどの意見が出されている。SITA は計測時間が短いという利点があるが、得られる測定データが推定値であるため、診断に注意が必要となる。また、FastPac⁴⁾ は Bracketing 法に対し、3 dB ごとに視標の明るさを変えて閾値（輝度）を決定する方法である。測定時間の約 40%の短縮を可能にしたが、Global Index（視野指標）で有意差があるとする報告が多く、従来の方法での検査が不可能な被検者のための簡易法であると捉えられている。以上より、計測時間を短縮することは確かに大事であるが、そのために精度を落としてしまったら本末転倒である。視野計に必要なことは、あくまでも実測値を求め計測時間を短縮する方法である。

視標：トータル偏差（以下 TD）は各測定点の実測閾値と年齢別健常値を比較してその偏差を dB および確率シンボルであらわす。パターン偏差（PD）^{4, 5)}は白内障などの中間透光体混濁や小瞳孔等に起因する全体的感度低下や異常な高感度による視野丘の高低を調整してその偏差を dB および確率シンボルであらわす。この TD、TD 確率、PD、PD 確率から長期の緑内障視野障害の進行を自動的に判定するプログラムが望まれている。

2) DICON⁶⁾

Dicon LD 400 は固視点を移動させて計測を行う視

野計である。通常使用される静的視野計は固視点が固定されているため、検査中に意識を一定に保つことが難しい。LD 400 は固視点が移動することにより、患者の意識レベルを一定に保つ利点がある。また、複数の視標を同時に提示して行う検査により、効率化を図り、検査時間を短縮することなどを目的とした視野計である。この視野計の利点は固視点移動によって意識レベルが保たれること（固視点移動式の閾値が固定固視の閾値よりも 1～3 dB くらい高く出たので、固視点移動式が被検者の意識レベルを高くすると解釈できる）、音声反応によって苦痛を減らすこと、少なくとも初期の症例では Humphrey の代替機としての機能があることなどが挙げられる。しかし、固視点の移動によって、視野変化の激しい（大きな輝度差のある）被検者では暗点などの見逃しがあり、病期の進んだ患者では移動に伴う固視点の見落としの問題などがある。そのため、通常の検査が困難な症例に限定して用いるべきであると考えられている。

3) INTERZEAG

Dynamic strategy⁹⁾（視野計に使われているプログラム）は提示する視標輝度を変化させる方法に、知覚確率曲線^{7, 8)}が感度の悪い範囲でなだらかになる（知覚確率の変化が少ない）ことを利用している。視標輝度の変化方法は、正常の生理学的閾値に近い部位ではステップサイズを 2 dB とし、感度の最も悪い部位では 10 dB にしている。このように、段階的にステップサイズを変更して視標提示を行い、被検者の応答が変化したところでラスト 2 回の間中値を閾値とする方法である。測定時間は視野の悪い症例で Bracketing 法の 50～60%、正常眼で 60～70%に短縮することが可能である。しかし、短期変動（1 回の検査によって、検査結果がどれだけ変動するかを示す指標）がステップ幅の変更によって、視野障害の進行例で大きくなるという報告がある^{9, 10)}。そのため、視野の沈下に応じた新しい基準値を設ける必要がある。Dynamic strategy の問題点は計測時間を短縮するために検出精度を落としてしまっていることである。精度を落としてしまっただけでは本来の目的である緑内障などの障害の検出ができなくなるため、計測時間短縮よりも、精度を上げることが大事である。

TOP（視野計で使用されているプログラム）は各測定点において視標提示を 1 回だけしか行わず、測定点自体とその隣接点の閾値を用いて網膜感度を推

定する方法である。TOPはグローバルな見方では再現性のある測定法である¹¹⁾という意見もあるが、以下に述べる問題点がある。(1)視神経乳頭所見および網膜神経線維層所見で異常が検出されたにもかかわらずTOPの結果で正常と判定された場合や、不鮮明な局所暗点のため視野形状が把握できない場合は、Bracketing法を用いて再検査すべきである¹²⁾。(2)測定時間を短縮できるが、測定精度は従来のBracketing法に比べ劣る。(3)視野の形状が把握し難いため、局所暗点の存在で検出できる早期緑内障の視野変化を捉えるのに問題がある¹³⁾。TOPの問題点はSITAと同様に、計測時間短縮のために実測値を求めず推定値を求め、精度を落としてしまっていることである。

4) 現状の視野計測の流れ

現状の視野計測の流れと将来的に視野計ソフトに求められる機能を図1に示す。緑内障などの診断は視野計を使用し、患者の視野欠損の検出・確認・変化の有無を調査するために、輝度閾値計測を行う。その視野計で得られる指標はグレースケール、MD、TDなどがあり、医師はこれらの指標を参考にして正常・異常を判断している。しかし、閾値計測は同一被験者が同じストラテジーで測定しても、測定値のバラツキが必ず存在する。原因として閾値の判定基準によるもの、長時間の計測によるもの、計測の慣れによるものなどであると考えられる。ここで述べた閾値の判定基準によるものとは、知覚確率50%（見えるか見えないかぎりぎり）の輝度を閾値として設定しているため、同じ被験者が同時期に2回測定

しても1~2dBの誤差がしばしば発生すること。また、医師によって最終的に下される診断は医師の知識と経験、視野以外の計測値（眼圧値など）、医師の主観などの要因から一意に定まらない。そこで本研究は、その閾値計測によるバラツキと診断による一意に定まらないことをファジィ理論による統計学的な判定率の提示を行うアルゴリズムを作成する。

2. 方法

1) 統計学的な診断支援

現在必要とされている指標は平均偏差MD、TD・PD確率などの指標と、固視不良（FL）などの信頼性評価値に分けられる。これらの指標を用いて視野障害の進行度を統計学的に判定を行うことを考える。本研究では、TD確率（年齢補正した正常値からの偏位を確率プロットとしてあらわした変数）を用いて、正常の平均値と異常の平均値のどちらにどれだけ近いかを有病確率として求め、診断の支援を行う（図2）。

2) TD 確率

図3で示したTD確率は、正常者の輝度分布（患者の同年齢の輝度分布）において計測された輝度が正常者に起こり得る割合となる。例えば、TD確率1%とは、患者が同年齢の正常者の1%にしか起こらないほど明るい視標でないと見えなかったことを示している。このTD確率値を以下に示す判別分析の説明変数とし、緑内障の進行度の判定に利用する。進行度の判定は判別分析により求めた目的変数の正常値および異常値の平均から、患者の目的変数がど

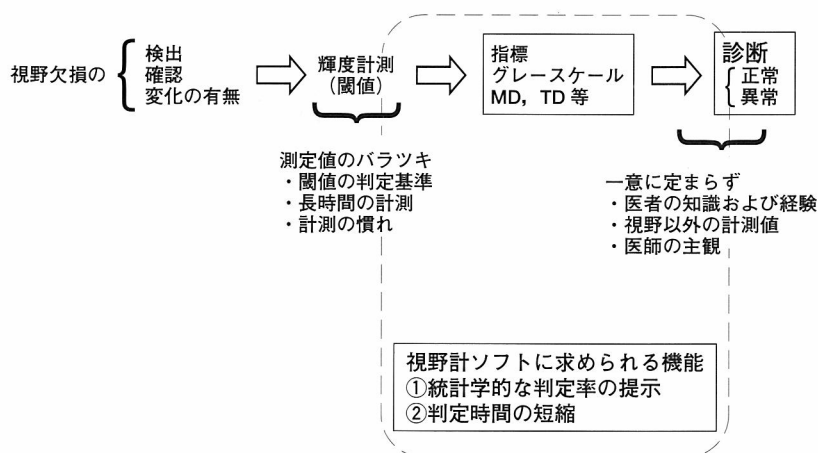


図1 視野計測の流れおよび視野計ソフトの機能

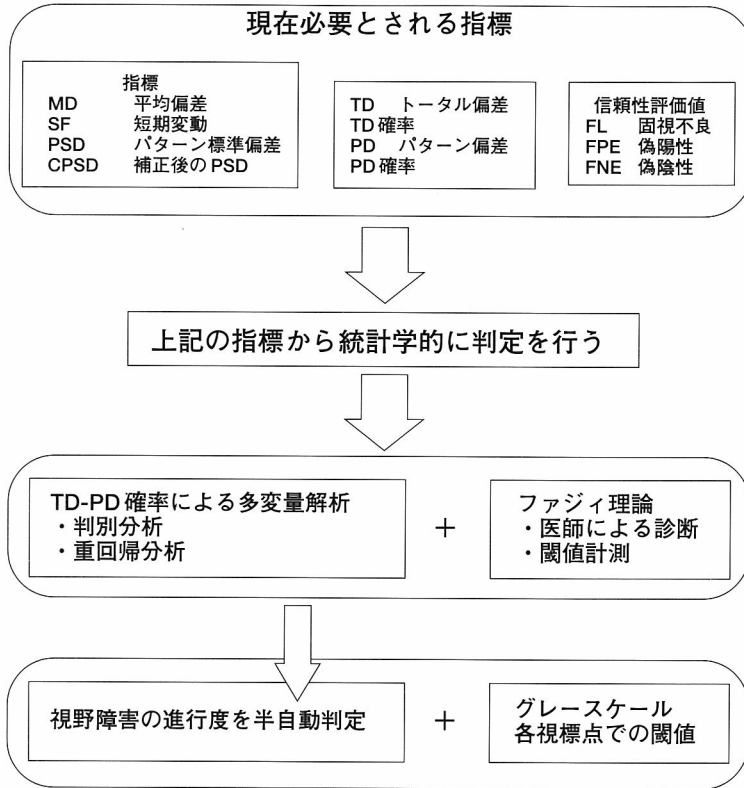


図2 統計学的な診断支援

のくらい離れているか求めて判定する。またその平均から離れた距離を用いて有病確率 (%) を算出する。

3) 判別分析^{14), 15)}

$$z = a_1 \cdot (x_1 - \bar{\eta}_1) + a_2 \cdot (x_2 - \bar{\eta}_2) + \dots + a_n \cdot (x_n - \bar{\eta}_n); \dots \textcircled{1}$$

①式は判別関数という。

z : 目的変数 x_i : 説明変数 a_i : 係数 $i = 1 \dots n$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{(\eta_i^{(1)} + \eta_i^{(2)})}{2}; \dots \textcircled{2}$$

$\eta_i^{(k)}$: k 群の x_i の平均

$$\mathbf{A} = \mathbf{V}^{-1} \cdot (\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2); \dots \textcircled{3}$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{n1} & \dots & V_{nn} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_2 \end{bmatrix}; \quad \bar{\mathbf{x}}_1 = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} \\ \vdots \\ \bar{x}_{n1} \end{bmatrix}; \quad \bar{\mathbf{x}}_2 = \begin{bmatrix} \bar{x}_{12} \\ \vdots \\ \bar{x}_{n2} \end{bmatrix};$$

V_{ij} : x_i と x_j の群内共分散 \bar{x}_{jk} : k 群の x_i の平均

②式の k 群は $k=1$ (正常眼), $k=2$ (異常眼, 緑内障眼) とする。

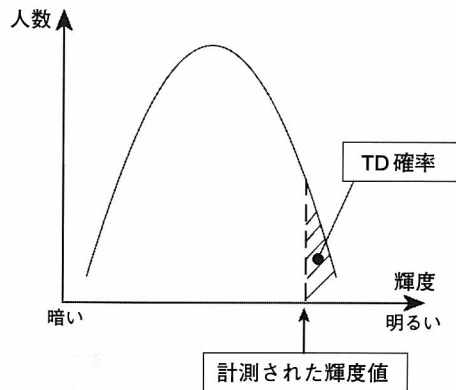


図3 患者と同年齢の正常者の輝度分布 TD (トータル偏差) 確率

4) 医師参加型ファジィアルゴリズムの提案

メンバシップ関数は本来、ファジィアルゴリズム作成者の主観や好みを反映できるという利点¹⁰⁾がある。医師も診断においては結局のところ、主観で決定を下すことを余儀なくされている。そのため、そ

の利点を最大限に生かし、メンバシップ関数の決定を一部本人に決定させるアルゴリズムにすることを提案する。

5) 閾値

同じ被検者に自動視野計による視野検査を数回繰り返すとわかるが、閾値が1~2dB変動してしまうことが一般的に知られている。閾値は一般に知覚確率曲線と呼ばれるS字型の心理測定関数を呈する^{4, 17, 18)}。その知覚確率曲線をメンバシップ関数に応用する。

6) 知覚確率曲線^{7, 8)}と閾値のメンバシップ関数

図4の■は背景輝度4 absで5段階(29.2 abs = 12 dB ~ 67.4 abs = 8 dB)の輝度(刺激強度)を選び、Goldmann III相当の大きさ(立体角0.43°)の視標を中心視野部分に20回ずつ提示した場合の結果を示している。被検者は55歳男性で、近視の傾向があるため、-2.5Dの矯正視力により測定を行った。横軸はlog|輝度(abs)|を示し、縦軸は知覚確率(各々の輝度に対して視標が見えた頻度)を示す。横軸は対数に比例する感覚をあらわすため、log(輝度)としてあらわした。この知覚確率曲線は累積正規分布曲線

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(y-\theta)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots ④$$

p: 知覚確率, y: 輝度値 abs, θ: 平均, σ: 標準偏差

となることが知られている。また、実験で得たデータは以下となった。

輝度 abs	29.2	35.8	44.0	54.3	67.4
log(輝度)	3.37	3.58	3.78	4.0	4.21
知覚確率%	10	25	45	70	90

実験で用いた輝度値の平均θ = 46.14 abs, 標準偏差σ = 15.14であるため、これらの値を④式に代入し、図4の曲線を得た。知覚確率(図4の■)は図4のグラフから累積正規分布曲線に近似できるとみなせる。

閾値は知覚確率が50%の場合の輝度である。ファジ理論を用いるため、この輝度の場合にメンバシップ値が1.0になるように変換する必要がある。図4の知覚確率曲線をμ = -2 · |0.5 - P/100| + 1.0の式を使って図5のようなメンバシップ関数に変換する。

7) a_iに対するメンバシップ関数

判別関数①式の係数a_iをファジ数として計算するために、図5の知覚確率曲線を利用したメンバシッ

プ関数を利用する。そのため、図6に示すlogb_{max}, logb_{min}を各々a_{imax}, a_{imin}に変換する。ここで判別関数①式に使われている変数のなかでファジ数になり得るのはx_iおよびa_iである。しかし、現状のTD確率データが5, 2, 1, 0.5%と間隔数となっているためx_iをファジ数とせず、係数a_iをファジ数とする。変換に使用する式を以下に示す。

$$a_{imax} = \log b_{max} \cdot \frac{a_i}{\log b_0}; a_{imin} = \log b_{min} \cdot \frac{a_i}{\log b_0}$$

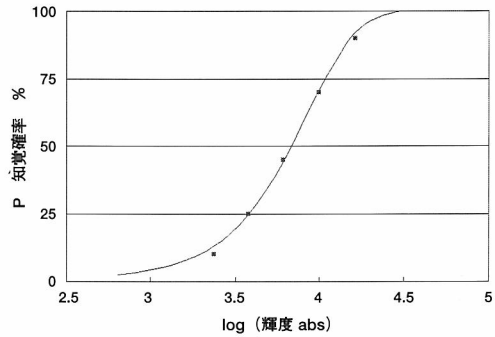


図4 知覚確率曲線

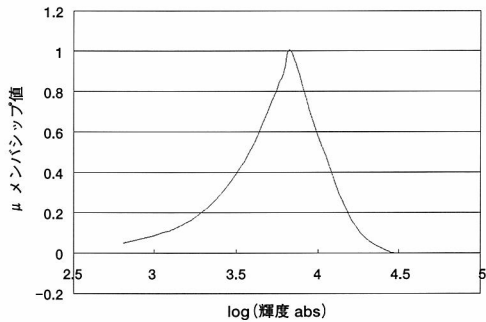


図5 メンバシップ関数

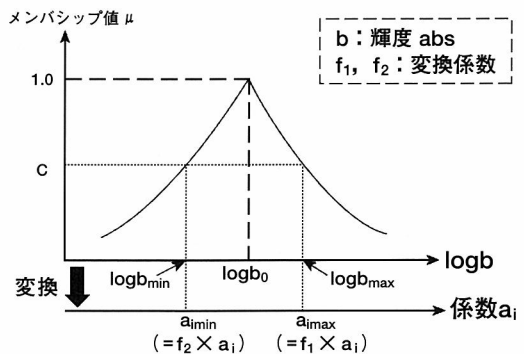


図6 メンバシップ関数

a_{imax}, a_{imin} : $\mu = c$ のときの a_i ; $a_{imax} > a_{imin}$

b_0 : $\mu = 1.0$ のときの b

b_{max}, b_{min} : $\mu = c$ のときの b $b_{max} > b_{min}$

μ はメンバシップ値 (図6に記載)

上記式で求めた a_i の最大値 a_{imax} , 最小値 a_{imin} を①式に代入し, 目的変数 Z の最大値 Z_{max} , 最小値 Z_{min} を求める。

8) 有病確率の求め方

正常者群および異常者群の目的変数 Z の平均値を求め, その値を各々有病確率 0, 100% と設定する。次に今求めたい患者の目的変数 Z を計算し, 正常者および異常者の平均値からの距離を用いて有病確率を算定する。

3. 結 果

1) 係数 a_i

対象は緑内障と診断された患者のなかから無作為に抽出した 94 眼で, 全症例に対してハンフリー視野

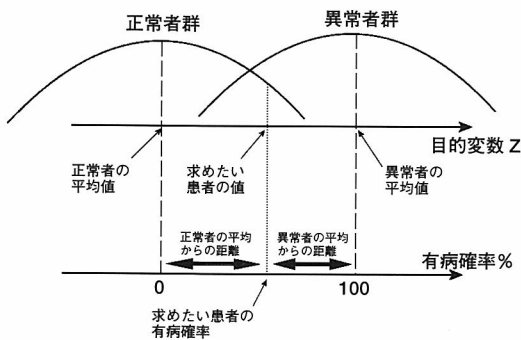


図7 有病確率の求め方

計の 30-2 閾値検査を行った。年齢は15~87歳 (60.0 ± 14.5歳, 平均値 ± 標準偏差) であった。視野データの TD 確率は正常者で起こり得る割合 (0.5% 以下, 1% 以下, 2% 以下, 5% 以下, それ以外) として, 5段階に分けられている。ここで図7に示したとおり, 目的変数 Z を正常者の平均値よりも異常者の平均値を大きく設定している。混乱を避けるため, 説明変数 x_i を異常 (緑内障) であるほど大きな数値に直す。各々の数値を 100 から順番に引き算して ($x_i = 100 - \text{TD 確率値}$), 99.5, 99, 98, 95, 0 を得る。上記の方法で判別関数の各視標位置における係数 a_i (図8) を求めた。

対象の94眼は左右の割合がほぼ等しい (右45眼, 左49眼) ため, 左眼の視標位置を左右逆にし, 全眼を右眼として扱い計算を行った。図8は各指標位置での a_i の平均 (上段) および標準偏差 (下段) をあらかず。また, 図8は視標位置と係数 a_i の関係把握するため, 係数の値 0.2 ごとに色分けして表示した。係数の値が大きいほど, 濃い色として表示している。

全94眼を無作為に基準眼73眼と抽出眼21眼に分け, 30-2 閾値検査の視標数74と同数の74眼 (基準眼73眼 + 抽出眼1眼) のデータから係数 a_i を求めた。平均値と標準偏差は抽出眼を21回入れ替えて得た a_i から求めた。ここで, 正常眼で30-2 閾値検査を行ったが TD 確率はほぼ5%以上 (対象外) となった。そのため, 正常眼に対するデータは $\eta_i^{(1)} = 0$ および $\bar{x}_1 = 0$ となる。②, ③式を以下のように各々②', ③'に変換して, 計算を行った。

$$\bar{\eta}_i = \frac{\eta_i^{(2)}}{2}; \dots\dots\dots ②'$$

$$A = V^{-1} \cdot (-\bar{x}_2); \dots\dots\dots ③'$$

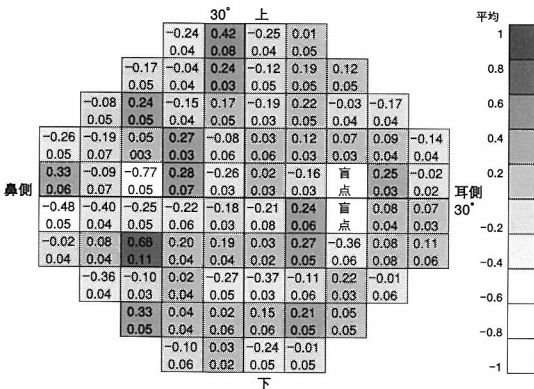


図8 各視標での a_i の値
上段: 平均, 下段: 標準偏差

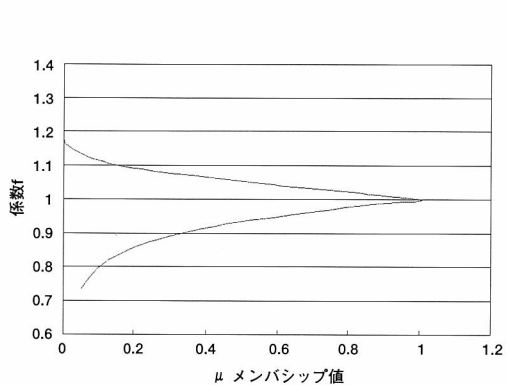


図9 メンバシップ値と係数 f_1 および f_2

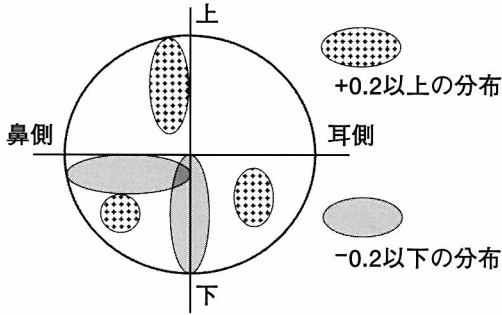


図10 係数 a_i の分布

2) 変換係数 f_1, f_2

各視標の係数 a_i を a_{imax}, a_{imin} に変換するための係数 f を図9に、計算式を以下に示す。

$$a_{imax} = f_1 * a_i; \quad a_{imin} = f_2 * a_i;$$

$$f_1 = \frac{\log b_{max}}{\log b_0}; \quad \text{または} \quad f_2 = \frac{\log b_{min}}{\log b_0};$$

4. 考 按

1) 係数 a_i

3. 結果で示した緑内障94眼のデータを①, ②', ③' 式に代入し、目的変数 Z の値を求めた。異常眼(緑内障眼)の目的変数 Z の平均値は -23.3 であった。また、正常眼の Z 平均値は①, ②', ③' 式より $+23.3$ となる。目的変数 Z は緑内障眼で $-$ (マイナス) 値を示し、正常眼で $+$ (プラス) 値を示す。図8に係数の値を 0.2 ごとの 10 段階に分けて表示しているが、係数の絶対値が大きいくほど正常・異常の区別に影響を及ぼす。正常および異常に影響を及ぼす視野範囲を把握しやすくするために、係数値が $-0.2 \sim +0.2$ の範囲を除き、 -0.2 以下と $+0.2$ 以上の範囲で考える。図8において、係数の $+0.2$ 以上の値は上側の座標軸沿いまたは下部の中間層に多く分布している。一方、係数の -0.2 以下の値は中心から鼻側および下部の座標軸沿いに多く分布している(図10)。①式より、マイナスの係数値の視標位置は TD 確率値が小さい(説明変数 x_i の値が大きい)ほど異常眼として判定されやすくなるため、緑内障診断において重要な視野位置であるといえる。今後、係数 a_i の値と視標位置に対応する網膜の関係を明らかにすることが重要で

ある。

2) 変換係数 f_1, f_2

a_{imax}, a_{iman} を求め、目的変数 Z の Z_{max}, Z_{man} の値を計算するために必要な係数 f_1, f_2 を求めた。

文 献

- 1) 岩瀬愛子, 北澤克明: SITA プログラムの有用性の検討. あたらしい眼科 15: 83-85, 1998.
- 2) 稲積幸介, 辻 明他: 閾値測定アルゴリズム, Swedish interactive threshold algorithm, の緑内障における評価. 日眼会誌 102: 667-672, 1998.
- 3) 後藤比奈子, 尾塔雅博他: ハンフリー自動視野計の Swedish Interactive Thresholding Algorithm (SITA) の臨床評価. 臨眼 53: 1074-1079, 1999.
- 4) 岩瀬愛子: 自動視野計最近の話題. 神眼 15: 250-257, 1998.
- 5) 鶴木一彦: ハンフリー視野計におけるトータル偏差とパターン偏差. Frontiers in Glaucoma 2: 42-43, 2001.
- 6) 稲積幸介, 山本哲也, 北澤克明: Dicon LD 400 視野計閾値測定プログラムの使用経験. あたらしい眼科 13: 1433-1436, 1996.
- 7) 池田光男: 最新応用物理学シリーズ 3 視覚の心理物理学. 43-46, 森北出版(株), 東京, 1975
- 8) 大山 正: 実験心理学. 25-29, 東京大学出版会, 東京, 1984.
- 9) 堀越紀子, 尾塔雅博他: Dynamic Strategy を備えた OCTOPUS 101 の使用経験. あたらしい眼科 14: 441-445, 1997.
- 10) 堀越紀子, 尾塔雅博他: オクトパス視野計の dynamic strategy における短期変動と長期変動. 臨眼 53: 85-89, 1999.
- 11) 尾塔雅博, 堀越紀子他: オクトパス視野計における tendency oriented perimetry の再現性. 臨眼 53: 1933-1938, 1999.
- 12) 堀越紀子, 尾塔雅博他: Tendency Oriented Perimetry による緑内障の検出率. あたらしい眼科 17: 1277-1281, 2000.
- 13) 堀越紀子, 尾塔雅博他: オクトパス視野計に備えられた Tendency Oriented Perimetry の臨床評価. 臨眼 53: 889-893, 1999.
- 14) 大野高裕: 多変量解析入門. 109-130, 同友館, 東京, 1998.
- 15) 田中 豊, 脇本和昌: 多変量統計解析法. 121-128, 現代数学社, 京都, 1983.
- 16) 日本ファジィ学会編: 講座ファジィ11 ファジィ医療診断. 213-217, 日刊工業新聞社, 東京, 1994.
- 17) 松本長太: 最近の視野検査の動向 - 自動視野計における閾値について -. あたらしい眼科 14: 829-835, 1997.
- 18) 徳岡 覚: 緑内障の検査機器 (2) - 自動視野計 -. 緑内障の診療ガイド, 眼科 Mook 40, 31-39, 金原出版, 東京, 1989.

原 著

改造スペキュラーマイクروسコープによる 角膜内皮ブレップの観察

西尾幸治, 林 正和, 弓掛和彦, 濱野 光*

(株)トプコン, *ハマノ眼科

Observation of Corneal Endothelial Bleb Formation with Modified Non-contact Specular Microscope

Kouji Nishio, Masakazu Hayashi, Kazuhiko Yumikake, Hikaru Hamano*

Topcon Corp., *Hamano Eye Clinic

キセノン光を光源とする角膜内皮撮影用スペキュラーマイクروسコープ SP-2000 P (トプコン) を改造し、色フィルタ (Y, G, B), および偏光フィルタ (偏光軸 0° , 45° , 90° , 135°) を挿入して、ソフトコンタクトレンズ (SCL) 装用直後および閉瞼約 20 分後の角膜内皮細胞を観察した。また、専用ゴーグルを使用して角膜を約 20 分間無酸素状態とした後ゴーグルを外し、およそ 2 分ごとに経時的変化を観察した。この結果、色フィルタでは改造前の撮影像と違いがみられなかったが、偏光フィルタでは、より微細な形態が捉えられるケースもあった。また、無酸素状態 (窒素灌流下) では SCL 装用時と裸眼時において、ブレップ発生の状況の違いが確認できた。本改造装置と密閉ゴーグルを利用することにより、今後様々な環境下でのブレップ観察が可能になると考える。

(視覚の科学 24: 132-136, 2003)

キーワード: 非接触スペキュラーマイクروسコープ, 角膜内皮ブレップ, 偏光フィルター, 無酸素状態, ゴーグル

We modified the non-contact Specular Microscope SP-2000P (TOPCON), which uses a xenon bulb as a light source for capturing images of corneal endothelial cells, and used colored filters (Y,G,B) and polarized filters (polarizing axis for 0, 45, 90, 135 degrees) for observation. For the three imaging modes (normal, colored filter, and polarized filter) we first took images of corneal endothelial cells right after wearing soft contact lenses (SCLs), closed their eyes for 20 minutes, and then removed the SCL. Secondly, we had patients wear goggles that made the inner chamber oxygen-free (nitrogen circulation environment) for a period of 20 minutes, and took cell images immediately and every 2 minutes after removing the goggle. We found no differences between results obtained using colored filters and normal imaging mode. On the other hand, we found that some images obtained with color filters were better for evaluating details than those taken normally. In the images of cells kept in the oxygen-free state imposed by goggles, we recognized signs that normal endothelial cells would change due to SCL and finally appear like the cells seen in the first experimental condition. With the modified instrument and goggle that creates an oxygen-free condition, we shall be able to observe blebs in various environments.

(Jpn J Vis Sci 24: 132-136, 2003)

Key Words: Non-contact Specular Microscope, Corneal endothelial bleb, Polarized filter, Oxygen-free state, Goggle

別刷請求先: 174-8580 東京都板橋区蓮根 75-1 (株)トプコン 医用機器技術部 西尾幸治
(2004年3月3日受理)

Reprint requests to: Kouji Nishio Topcon Corp. Ophthalmic & Medical Instruments Engineering Dept.
75-1 Hasunuma-cho, Itabashi-ku, Tokyo, 174-8580 Japan
(Received and accepted March 3, 2004)

1. 緒 言

1977年, ZanatosとHolden¹⁾は, コンタクトレンズ(以下 CL)装着直後一過性に, 角膜内皮に一つあるいは数個の細胞が黒い領域としてスポット状に観察される現象を発見し, これを“endothelial blebs”(以下 ブレップ)と名付けた。その後多くの研究者によって詳細な観察²⁻⁹⁾が行われ, これは酸素不足に対する角膜内皮細胞の急性反応(浮腫)が原因と現在では考えられている。このときの状態を図1に示す。浮腫を起こした内皮細胞からは正しく正反射が返らないため, 黒くしか撮影されず, その形態がよくわからない状態となる。

またその時間的変化は, 稲垣ら⁷⁾によると, 多くの場合CL装着5~15分後から出現し, 約30分後にその数は最高となり, 約1時間でほぼ消失すると報告されている。

今回, 改造スペキュラーマイクروسコープにより, ソフトCL(以下 SCL)装着下での角膜内皮ブレップの形態観察を行うとともに, 専用ゴーグル使用によりブレップの形成および消失における経時的変化の観察も試みた。

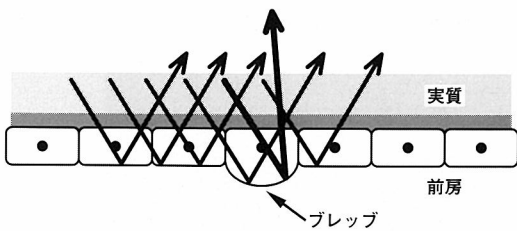


図1 角膜後面における鏡面反射

2. 対象および方法

対象は30歳代男性2例4眼である。

改造スペキュラーマイクروسコープの光路図を図2に示す。改造スペキュラーマイクروسコープは, トプコン製スペキュラーマイクروسコープSP-2000Pをベースにしており, 撮影用光源としてキセノン光源を使用している。キセノン光源から発光された光は, 照明光学系を通して被検眼角膜にスリット投影され, 角膜で反射された光は撮影光学系を通してCharge Coupled Device(以下 CCD)カメラに結像される。ここでより詳細な形態を捉えるために, 撮影系を改造することによりフィルタ挿入を可能とした。また, フィルタ挿入により通常の約20%まで光量低下が見込まれるため, 光源の光量アップ(約2倍)およびCCDカメラの感度アップ(約6dB)を合わせて行った。

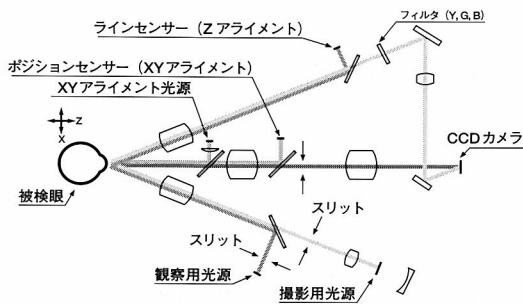
1) 方法1. 色フィルタによる撮影

撮影光学系にそれぞれの色フィルタ(Y, G, B)を挿入し(図2a), ブレップの発生前後(SCL装着直後と約20分間閉瞼後の開瞼直後)に角膜内皮細胞撮影を行った。

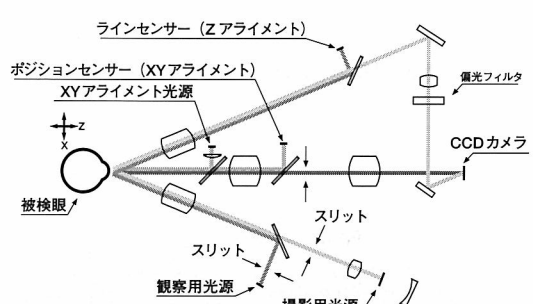
なお実験に使用したSCLは, いずれもPower 0.50Dのワンダー・アキュビュー®(Johnson & Johnson)である。

2) 方法2. 偏光フィルタによる撮影

方法1と同様に偏光フィルタを挿入し(図2b), ブレップの発生前後で撮影を行った。このとき, 偏光板には回転機構が設けてあり, 偏光軸を変化させて(0°, 45°, 90°, 135°)撮影を行った。



a 色フィルタ



b 偏光フィルタ

図2 改造スペキュラーマイクروسコープの光路図

3) 方法3. ゴーグルを用いた経時的变化の観察

無酸素状態で角膜内皮撮影が可能なシステム(図3)を開発し、前述の偏光フィルタによる撮影を行った。

まず、角膜を覆う密閉内に、十分湿潤した窒素を還流して無酸素状態をつくり、ゴーグル上から約20分間観察した後、ゴーグルを外してブレップが観察されなくなるまで、数分間隔で撮影を行った。これを裸眼とSCL装用眼の両方に対して行った。

更に、撮影画像をもとに、角膜内皮細胞解析システム (IMAGEnetR: (株)トプコン製) を用いて

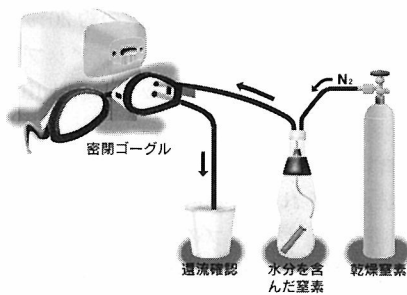


図3 窒素還流用密閉ゴーグル

$$\text{ブレップ占有率(\%)} = \frac{\text{ブレップの面積}}{\text{撮影範囲面積}} \times 100$$

を求め、経時的变化の定量化を行った。

3. 結果 果

1) 結果1. 色フィルタによる撮影

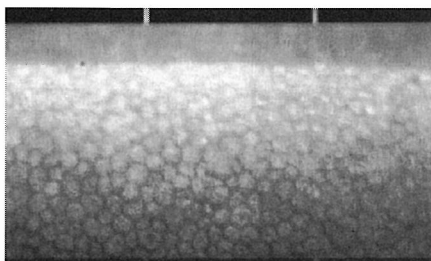
図4はBフィルタでの例で、開始直後(図4a)と約20分後(飽和状態:図4b)の撮影画像である。ブレップは単に黒くしか観察されなかった。他の色フィルタにおいても同様の結果であった。

2) 結果2. 偏光フィルタによる撮影

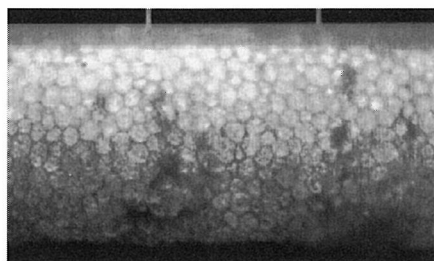
図5は偏光軸0°での例で、開始直後(図5a)と約20分後(飽和状態:図5b)の撮影画像である。白枠で囲んだところのように、ただ黒く撮影されるのではなく、細胞自身の形状(凹凸状態やひだのようにも見える)を呈しているようにも見えるケースもあった。なお、今回の実験では症例数が少ないために、偏光軸角度との関係を見出すことはできていない。

3) 結果3. ゴーグルを用いた経時的变化の観察

図6は、SCL装用眼での偏光軸45°の時間ごと(順に無酸素状態開始直後(図6a)、3分(図6b)、9分(図6c)、19分(図6d)、ゴーグル開放後3分(図6e)、

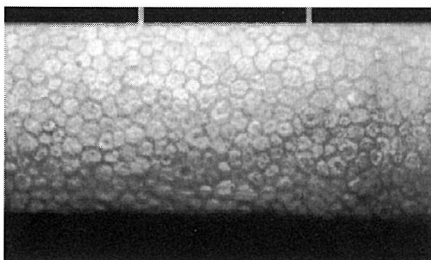


a SCL 装用直後

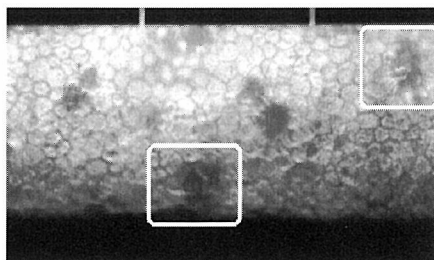


b 閉眼 20分後

図4 Bフィルタによる撮影 (SCL 装用状態)



a SCL 装用直後



b 閉眼 20分後

図5 偏光による撮影 (ソフトコンタクトレンズ (SCL) 装用状態, 偏光軸0°)

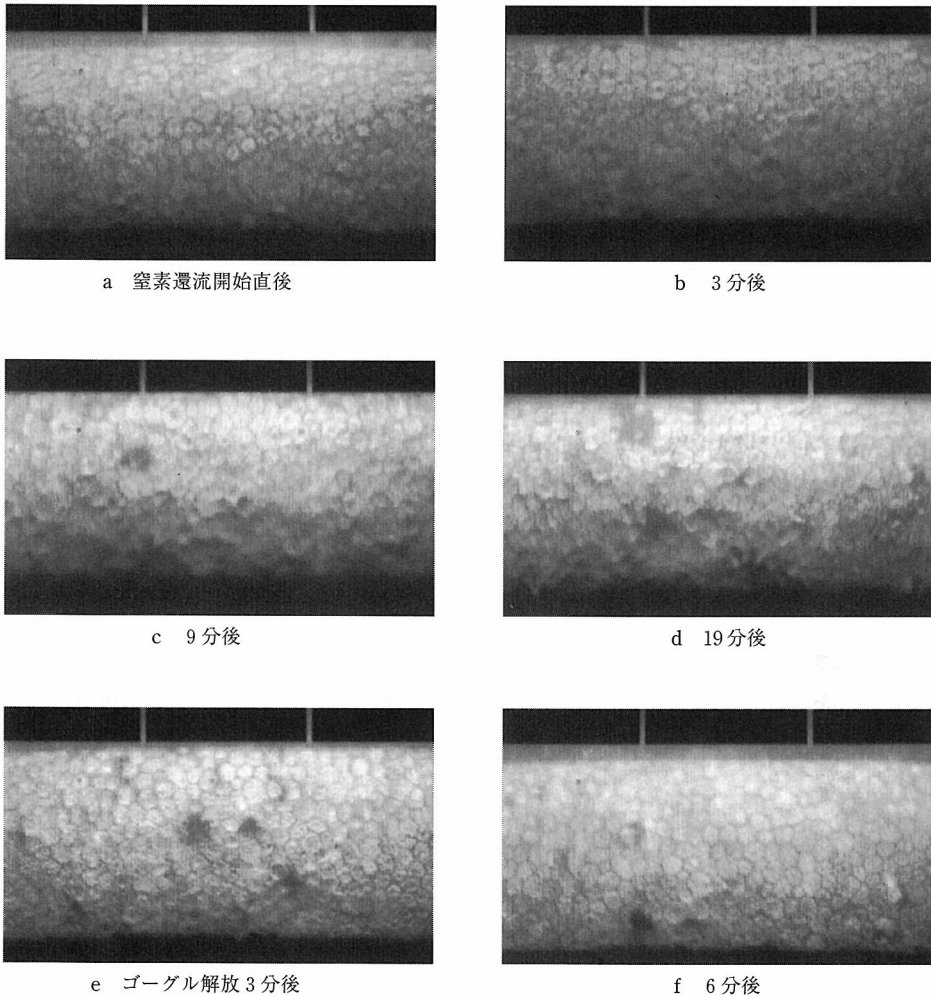


図6 経時変化の観察 (SCL 装用+密閉ゴーグル装着, 偏光軸45°)

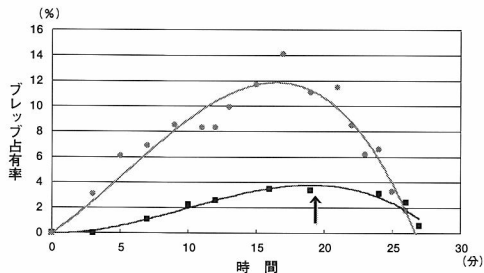


図7 裸眼およびSCL装用時のブレップ占有率の経時変化
 (↑の時点でゴーグル解放)
 ■: 裸眼, ○: SCL 装用

6分(図6f)の画像を並べたものである。また図7は、図6と同一被験者の裸眼およびSCL装用時の画像について、ブレップ占有率の経時変化をグラフ化したものである。無酸素状態にして数分でブレップが発生し始め、時間とともに増加、ゴーグルを開放した後は、ピークまでの半分以下の時間で急速に回復する様子が観察されている。更に、同じ無酸素状態下でも、SCL装用時は裸眼に比べ、より多くのブレップが形成されるということも確認された。

4. 考 按

色フィルタ挿入による効果がみられなかった理由としては、図1で前述のとおり、正反射成分により

像を形成するために、波長分離では変化があらわれなかったということが考えられる。

偏光フィルタにおいて、より微細な形状変化が観察された理由としては、表皮や実質などほかの層での反射光あるいは散乱光によるカブリの影響が軽減されたことにより、通常埋もれて見えなかった正反射成分が観察可能になったということが考えられるが、症例が少なく詳細は不明である。

ゴーグルを用いて前眼部の酸素環境をコントロールすることにより、ブレップの生成や消失過程を経時的に観察することができた。

ブレップは、酸欠によって上皮で産生された乳酸や炭酸が、内皮細胞のpHをより酸性側にシフトさせて起こるというEfronら²⁾の報告があるが、今回、裸眼よりSCL装用眼において、より多くのブレップ発生を確認したのは、レンズ装用眼では産生された乳酸や炭酸が、裸眼に比べ涙液側に排出されにくいためであったと推測される。

本改造装置と密閉ゴーグルを利用することにより、様々な環境下でのブレップを観察することが、今後可能になると考えられる。

文 献

1) Zanatos SG & Holden BA: Transient endothelial

changes soon after wearing soft contact lenses. *Am J Optom Physiol Optics* 54: 851-858, 1977.

- 2) Efron N, Kotow M, Martin DK & Holden BA: Physiological response of contralateral cornea to monocular hydrogel contact lens wear. *Am J Optom Physiol Optics* 61:517-522, 1984.
- 3) 神谷千秋：コンタクトレンズ装着直後に観察される角膜内皮モザイクの一時的変化. *日コレ誌* 22: 269-277, 1980.
- 4) 神谷千秋：Specular Microscopeによるソフトコンタクトレンズ装用直後の角膜内皮の観察. *日コレ誌* 23: 147-149, 1981.
- 5) Laing RA, Sandstrom MN & Leibowitz HM: Clinical specular microscopy. I. Optical principles. *Arch Ophthalmol* 97: 1714-1719, 1979.
- 6) Laing RA, Sandstrom MN & Leibowitz HM: Clinical specular microscopy. II. Qualitative evaluation of corneal endothelial photomicrographs. *Arch Ophthalmol* 97: 1720-1725, 1979.
- 7) 稲垣恭子, 田中英成他：酸素透過性ハードコンタクトレンズ装用による Endothelial Blebs の発生. *日コレ誌* 39: 159-162, 1997.
- 8) 濱野 光, 渡邊 潔, 光永サチ子：ソフトコンタクトレンズ装用直後の角膜内皮細胞の変化—スペキュラーマイクロスコープ (SP-1000 R) によるレンズ上からの観察—. *日コレ誌* 35: 140-145, 1993.
- 9) Inagaki Y, Akahori A et al: Comparison of corneal endothelial bleb formation and disappearance process between rigid gas-permeable and soft contact lenses in three class of Dk/L. *Eye & Contact Lens* 29: 234-237, 2003.

“眼鏡レンズの解説”のシリーズ開始にあたって

不二門 尚（大阪大学大学院医学系研究科・感覚機能形成学）

眼鏡は、眼光学のなかで非常に重要なポジションを占めていますが、その進歩について知る機会は多くありません。眼科臨床系からすると、眼鏡の理論は難解だという先入観があり、また工学系の方からは、すでに確立した分野だという感覚があるように思われます。しかしながら、最近の眼鏡は以前と比較して軽量化し、近々眼鏡など多様化しています。このような背景を踏まえ、ぜひ眼鏡レンズの解説をシリーズでやっていただければと、編集委員の高橋文男さんをお願いしたところ、快く引き受けて下さいました。このシリーズは、眼鏡レンズの材質および光学的特性について、わかりやすく、最近の進歩も踏まえて解説されており、眼科臨床医、視能訓練士のみならず、工学系の方々も大変有用な情報が得られると思います。

“眼鏡レンズの解説”シリーズの企画にあたって

高橋文男（株）ニコン・エシロール研究開発部）

本誌編集委員長の不二門先生からご紹介いただきましたように、本号から眼鏡レンズに関する解説を6回にわたって掲載することになりました。眼鏡レンズは誰でも簡単に装用できるばかりでなく高い精度で屈折補正が可能なことから、最も代表的な屈折補正用具として広く使用されていることはご承知のとおりです。

眼前に配置されて使用される眼鏡レンズは、近年になってより薄くより軽くを目標に装用感を重視した開発が進み、現状はすでに“新しい世代の眼鏡レンズ”とまでいえる状況になっていると思います。

この背景にはレンズ設計における自由度の高い非球面の導入とそれを可能にした高精度NC加工装置、高屈折率プラスチック材料、材料特性を補って更に眼鏡レンズとしての各種性能を向上させる表面処理技術など、各種要素技術の進展に負うところが大きいことはいうまでもありません。これら洗練された要素技術によってそれぞれに特徴あるレンズが供給されています。

眼鏡レンズを快適に装用していただくためには、日常必要とされる視的條件に最も適合する眼鏡レンズを選択していただくことが基本です。色々な特性をもった眼鏡レンズのなかから、レンズ種類はもちろんのこと材料、表面処理、透過特性なども考慮してレンズを選択していただくことが大切です。本稿では、「レンズの特性とその選択」をテーマとしまして、眼鏡レンズの近年の傾向やトピックスに触れながら、眼鏡レンズの選択について役立つ知識を解説していただく予定です。第1回・第2回は光学設計上のレンズの分類からそれらの特性と選択について、第3回・第4回は個々の要素技術に焦点をあてて「材料について」および「表面処理について」を、第5回・第6回は眼鏡レンズがもつ特性に触れて「透過特性について」および「光学特性について」を、それぞれ専門の方に執筆していただく計画です。

まず第1回は本号と次号の2回にわたり、単焦点レンズ、多焦点レンズ、累進屈折力レンズについて、長年、設計の立場でご活躍されているHOYA（株）木谷 明氏に執筆していただきます。どうぞご期待下さい。

眼鏡レンズの解説

レンズ特性とその選択について

木谷 明

HOYA (株)ビジョンケアカンパニー

非球面を含んだ眼鏡レンズは一般に非球面レンズと呼ばれ、外面非球面レンズ、内面非球面レンズ、両面非球面レンズの3種類に分類される。外面非球面レンズはレンズ度数に対する収差補正が可能であり、内面非球面レンズは乱視度数に対応することができる。また、両面非球面レンズは各面の非球面量のバランスをとることができる。多焦点レンズはEX形多焦点レンズと小玉形多焦点レンズに分類される。近年、小玉形状は「ラウンドセグメント」、「ストレートトップ」、「カーブドトップ」の3種類に集約されつつある。

(視覚の科学 24: 139-143, 2003)

キーワード：外面非球面レンズ、内面非球面レンズ、両面非球面レンズ、EX 焦点レンズ、小玉形多焦点レンズ

The spectacle lens which includes aspherical surface(s) is called the "Aspheric lens" in general and it can be divided into 3 types as "Front surface aspheric lens", "Back surface aspheric lens" and "Both surfaces aspheric lens". The "Front surface aspheric lens" can reduce the aberration in focal power and the "Back surface aspheric lens" can cope with the cylindrical power. And, the "Both surfaces aspheric lens" can balance the aspherical value on each surface. The multifocal lens can be divided into E-line multifocal and Segment type multifocal. Recently, the shape of segment has become selected into 3 types as "round segment", "straight-top segment" and "curved-top segment".

(Jpn J Vis Sci 24: 139-143, 2003)

Key Words: Front surface aspheric lens, Back surface aspheric lens, Both surfaces aspheric lens, E-line multifocal, Segment type multifocal

1. 品種別、設計別

各種レンズ特性およびレンズ選択の考え方について以下の順に解説します。

- ・単焦点レンズ 球面, 非球面
- ・多焦点レンズ
- ・累進屈折力レンズ

2. 単焦点レンズ

眼鏡レンズにおける単焦点レンズには、球面屈折力レンズと乱視屈折力レンズとがある。これらのレンズに非球面を組み込んだレンズは一般に非球面レンズと呼ばれており、図1に示すごとく外面非球面レンズ、内面非球面レンズ、両面非球面レンズなどの種類がある。非球面を用いる目的は主としてレンズ

周辺部における収差の改善や有効視野の拡大、レンズの薄肉軽量化などにあるが、その設計には多くの種類があり一様ではない。なお、乱視屈折力を発生させる面形状は一般に「トロイダル面」と呼ばれるが、非球面とは呼ばない。一方、「トロイダル面」に非球面の効果を加えた面形状は「非トロイダル面」と呼ばれる。

1) 外面非球面レンズ

レンズの凸面側に回転対称非球面を用い、凹面側に球面（球面屈折力レンズの場合）またはトロイダル面（乱視屈折力レンズの場合）を用いたレンズである。単焦点非球面レンズのなかで最も普及している面構成であるが、乱視屈折力レンズの場合、2種類の屈折力に同一の非球面量（球面との偏差）しか与えられない。ただし、乱視屈折力が弱度であれば大

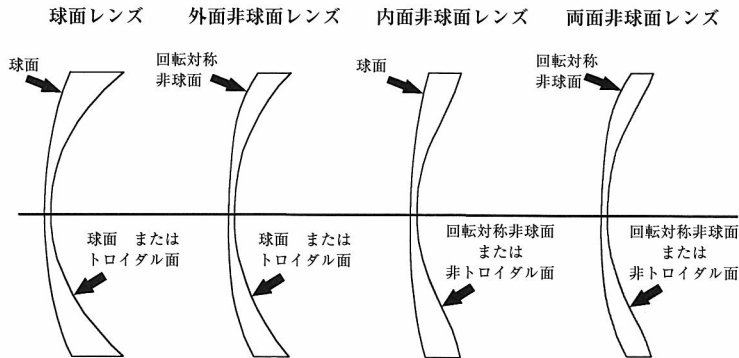


図1 非球面レンズの種類

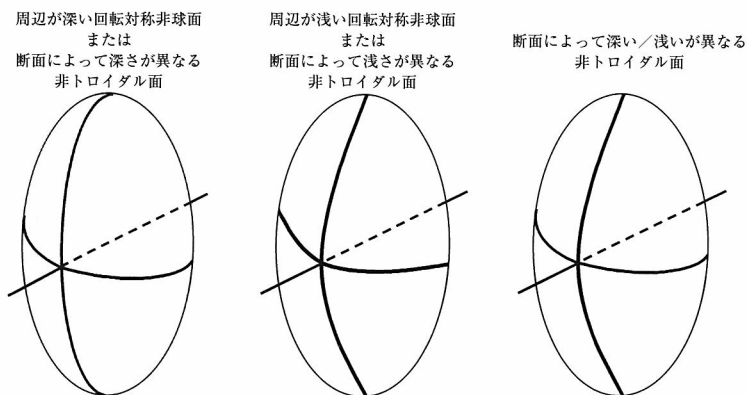


図2 非球面の種類

きな影響はない。

2) 内面非球面レンズ

レンズの凸面側に球面を用い、凹面側に非球面(球面屈折力レンズの場合)または非トロイダル面(乱視屈折力レンズの場合)を用いたレンズである。乱視屈折力レンズの2種類の屈折力の各々に、適切な非球面量を与えることができる長所があり、強度の乱視屈折力の場合に好適である。

3) 両面非球面レンズ

レンズの凸面側に非球面を用いると同時に、凹面側にも非球面(球面屈折力レンズの場合)または非トロイダル面(乱視屈折力レンズの場合)を用いたレンズである。内面非球面レンズの長所に加え、凸面側と凹面側の非球面量のバランスをとれる長所があり、強度の球面屈折力や乱視屈折力の場合に好適である。

4) 非球面の種類

図2は図1に示した様々な非球面の模式図である。

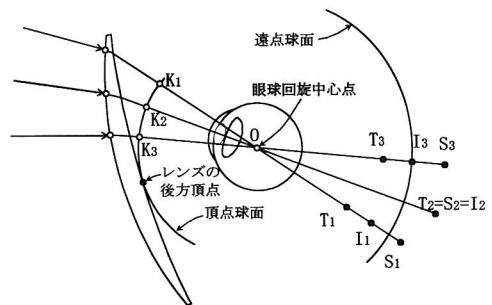


図3 眼球を通しての結像

各々の断面カーブは、中央から周辺にかけて深くなっているものや浅くなっているもの、それらが混在しているものなどが一般的であるが、曲率変化が一般ではない複雑な断面カーブを用いている場合もある。

5) 眼球を通しての結像

図3はレンズを透過した光線が眼球を通して結像する様子をあらわしている。眼球回旋中心点Oを中心

とし、レンズの後方頂点までを半径とした円を一般に「頂点球面」と呼び、同じく眼球回旋中心点Oを中心とし、所定の遠用度数に対応した焦点位置までを半径とした円を一般に「遠点球面」と呼ぶ。頂点球面上の点Kからの光線が眼球回旋中心点Oを通り遠点球面上に結像する場合、その光線と光軸とを含む平面内での焦点位置Tとその直交平面での焦点位置Sは一般には異なり、その差異（厳密には屈折力差）が非点収差となる。また、TとSとの平均位置I（厳密には平均屈折力の位置）と遠点球面との差異がパワーエラーとなる。図3において、K1に対応した結像T1, I1, S1は非点収差とパワーエラーの両方が存在している例であり、K2に対応した結像T2, I2, S2は非点収差はないがパワーエラーが存在する例であり、K3に対応した結像T3, I3, S3は非点収差は存在するがパワーエラーがない例である。

6) 完全矯正値と処方値の違い（非球面レンズの特性に関連する基本知識として）

遠視眼には正の屈折力、近視眼には負の屈折力が処方されるのは周知のとおりであるが、近視眼に用いる負の屈折力が完全矯正値よりも強すぎる（絶対値が大きい）場合は「過矯正」と呼ばれ、一般に不適切な処方とされる。これは遠方視においても調節力の使用を余儀なくされるために、眼が疲労すると同時に近視眼の度数が進行することもあるからである。一般に、近視眼の場合は完全矯正値よりも弱めの（絶対値が小さい）処方値とすることで快適な装用感を目指すことがよくある。遠視眼の場合はこの逆であって、処方値が弱すぎる場合が不適切な処方とされ、完全矯正値とすることが推奨されている。また、遠視眼、近視眼にも眼精疲労患者に対しては、遠方視での調節を確実に解放するために完全矯正値よりも（+）寄りの度数に処方されることもある。これらの処方方法に共通した基本的な考え方は「遠方視において調節力を使わせない」ことにある。

7) 非球面レンズの特性

かつて非球面レンズは、白内障手術後の無水晶体眼に対して処方されるプラス強度度数（S+13.00前後）のレンズに用いられることが多く、収差を減らして有効視野を広げ、合わせて肉厚や重量を軽減する目的で設計された。

今日では眼内レンズ（IOL）の普及により、この種の非球面レンズの需要は減少しているが、代わりに1980年代後半ごろからマイナス度数や弱度数を含

めた広い度数範囲に対する非球面レンズが登場してきた。従来であれば不必要とされた弱度数範囲にまで非球面設計を行う目的は、主として薄肉軽量化にある。すなわち、薄肉軽量化のためにレンズの前面カーブを浅く設定し、そのために増大した収差を非球面設計を施すことにより改善し、合わせて非球面形状がもたらす更なる薄肉軽量化を図ることができる。このような事情から、最近の非球面レンズは極めて浅い前面カーブを採用していることが多く、眼鏡フレームの基準カーブ（リムの立体形状の基準となっている球面）の動向にも影響を与えている。

また非球面設計を採用することにより、レンズ周辺部にありがちな「視線とレンズ面とが直交し得ないことに起因する様々な収差」を軽減しているため、従来の球面レンズに比べ装用感が変わることがある。ただし、この変化は必ずしも良好とは限らない。例えば、球面レンズのカーブは20~30年前に起きたフレームの大型化の傾向に伴い、やや浅めに推移しており、フレームの傾向が小型化に転じた現在もカーブの傾向は変わっていないようである。このため、このような球面レンズの周辺部では視線とレンズ面とが斜めに交差するため、実質的に眼が感じる度数が強くなる（絶対値が大きくなる）傾向にある（図3のT1, I1, S1参照）が、非球面設計ではこの収差（パワーエラー）を軽減または解消している（図3のT3, I3, S3参照）。したがって、処方値が完全矯正値であった場合、球面レンズの周辺部に起きていた過矯正の傾向が、非球面設計により改善されることになる。ところが、処方値が完全矯正値よりも弱めの値であった場合には、非球面レンズの方が球面レンズよりも相対的に弱い周辺部の度数を与える結果となる。近視眼に対して弱めの度数が処方されている場合、非球面レンズの周辺の見え方が物足りなく感じることがあるのはこういう理由からである。

また、歴史的に名高いチェルニングの楕円の理論に基づく比較的古い非球面設計の考え方では、非点収差除去に重点が置かれているため、前述のパワーエラーは補正過剰となり、レンズ周辺部の度数は中央部より実質的に弱めとなっている（図3のT2, I2, S2参照）。このため、非点収差除去を主目的とした非球面レンズでは、球面レンズとの差異が大きくなるので薄肉軽量化の効果は大きくなるが、それと同時に装用感も大きく違ってしまう結果となる。

また、非球面レンズでは従来より浅いカーブを採

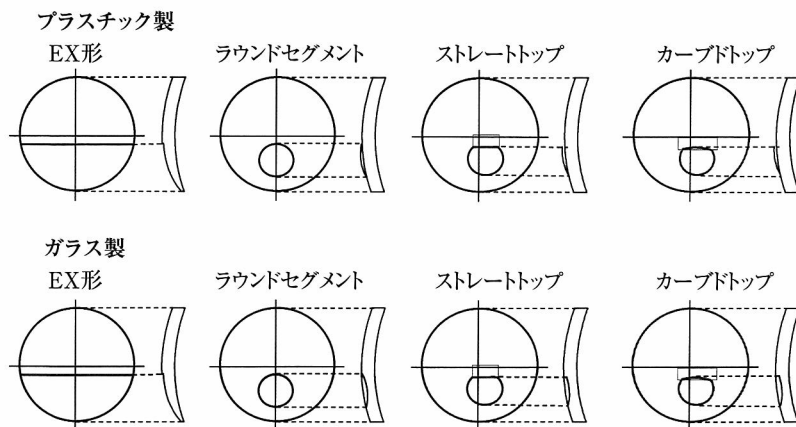


図4 多焦点レンズの種類
 築島謙次監修：メガネの科学21 基礎編。HOYA ㈱ビジョンケアカンパニー，東京，2002.より引用。

用することが多いので、像の歪みにかかわる収差（歪曲収差）にも違いがある。例えば外部から見たレンズ装用者の目元や顔の輪郭は、浅いカーブの場合の方が歪みが少ない。逆にレンズ装用者がレンズの周辺部を通して見る像の歪みは、浅いカーブの場合の方が一般に大きい。しかしながら、像の歪みは鮮明度には無関係であり、単焦点レンズによる一様な変化の少ない歪みは、慣れや脳による補正によって実質的に無害化されるといわれている。したがって、非球面レンズの装用で足元や周辺の歪みの違和感を訴えるケースでも、レンズと角膜間との距離や前傾角などの装用条件を見直すことにより違和感が解消されることも多い。

さて、マイナスレンズの装用者に老視の傾向（調節力の衰退）があった場合、非球面設計が思わぬ利点を生むこともある。それは単焦点レンズといえども近方視は下方視となるのでレンズの周辺部を使うことになり、この領域の度数の違いは近方の見え方に影響する。すなわち、前述のごとく非球面レンズの周辺部はやや浅めのカーブをもった球面レンズの周辺部に比べ、マイナス度数が弱くなっているため相対的に近方視がしやすくなる。ただし、プラスレンズの場合にはこの逆の傾向となるので注意が必要である。

3. 多焦点レンズ

かつて累進屈折力レンズが多焦点レンズの範疇に含まれていた時代もあったが、普及するにつれて累

進屈折力レンズは独立した分類となった。したがって、今日の多焦点レンズは二重焦点（バイフォーカル）レンズや三重焦点（トライフォーカル）レンズのように、明確な境界線（意図的に境界線をぼかしたものもある）を有した複数の視野領域をもつもの限定されている。また、これまで多焦点レンズは、その材質が単一であるワンピースタイプと、異なる硝材を溶着したフューズドタイプに大別されてきたが、 castingによるプラスチック素材が主流となった今日では適切な分類方法とはいえないであろう。製法や材質ではなく近方視野の形態で分類すると、水平方向に伸びた直線状の境界線によって上下の視野領域に分割されているタイプ（とくにEX形と呼ばれる）と、円を基本とした窓状の視野領域（小玉と呼ばれる）をもつタイプに分類できる。

1) EX形多焦点レンズ

世界で初めて考案された二重焦点レンズがこのEX形であったと伝えられている（Benjamin・Franklin：1784）ように、大変古いレンズタイプではあるが、最も広い近方領域をもつ特異な多焦点レンズである。EX形の特徴は遠近視野領域の境界に極めて明確な段差が存在することである。この段差が最小となる点（マージポイントと呼ばれる）では、遠近視野領域のプリズム作用が等しくなるように設計されている。このため、この点を視線が通過するとき「像の跳躍」が起きないので遠近視野領域間の視線移動に伴う違和感が少ない。また、累進屈折力レンズと同様に、両眼に同一の下方プリズムを付加する「プリズ

ムシニング加工」により薄肉軽量化を図ることのできる唯一の多焦点レンズでもある。また、一般にEX形は単一材質のワンピースタイプなので、プラスチック製もガラス製も同一の断面形状を有する(図4)。

2) 小玉形多焦点レンズ

ガラス製多焦点レンズが老視用眼鏡レンズの主流であったころには極めて多くの種類の小玉形状が存在したが、累進屈折力レンズが普及した今日では、円形の「ラウンドセグメント」、上端の境界線が直線状の「ストレートトップ」、上端の境界線が浅い弧状の「カーブドトップ」の3種類に集約されつつあるようである。ただし、ガラス製は台玉と呼ばれる遠方視用のレンズに、より高い屈折率の小玉を埋め込んで溶着したフェーズドタイプであり、プラスチック製は台玉と同じ材質の小玉を隆起させたワンピースタイプが一般的である(図4)。

3) これからの多焦点レンズ

今日、累進屈折力レンズの台頭によって影の薄い多焦点レンズではあるが、累進屈折力レンズ特有の揺れや歪みに適応しきれない人にとって、多焦点レンズは貴重な老視用眼鏡レンズである。また、近用

部のみ特定のプリズム作用をもたせたりする特殊な仕様は、累進屈折力レンズでは作り得ない。明確な境界線の存在のために需要の減りつつある多焦点レンズではあるが、とくに視能訓練や眼科上の治療目的において、その境界線が作り出す明確な視野区分が長所となるケースは意外に多いのではないだろうか。

また、一時は全く廃れたかにみえた機械式の腕時計が、クォーツ時計よりも高級な商品として再び脚光を浴びたように、高度な溶着技術と芸術的ともいえる精緻な匠の技であるガラス製フェーズドタイプの多焦点レンズが、この上ない貴重な商品として見直されるかもしれない。「小玉の存在がおしゃれ」ともてはやされる日が来るのではないだろうか。

参 考 文 献

- 1) 眼鏡レンズの用語 (JIS T 7330) 日本規格協会, 東京, 2000.
- 2) 白河孝雄: 多焦点レンズの概念. 月刊「眼鏡」, 眼鏡光学出版(株), 東京, 1978.
- 3) 辻 一央: 科学的な眼鏡調整. 眼鏡光学出版(株), 東京, 1996.

解 説

平成15年度日本眼科学会専門医認定試験の解答と解説 (眼光学・屈折・調節関係)

東京医科歯科大学 所 敬

第15回日本眼科学会専門医認定試験は2003年6月13、14日の両日に、全共連ビルと日本海運倶楽部を会場に実施された。眼光学・屈折・調節関連問題は一般問題100題中5問、臨床問題50題中2問で、近年減少傾向にある。以下に解答と解説を述べる。

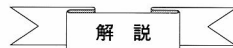
一般問題 5問

27 水晶体で正しいのはどれか。

- (1) 無調節時の屈折率は30Dである。
- (2) 後嚢は前嚢より薄い。
- (3) 直径は約9mmである。
- (4) 嚢は水晶体上皮細胞の基底膜である。
- (5) 前嚢下には重層の水晶体上皮細胞がある。

a (1), (2), (3) b (1), (2), (5) c (1), (4), (5)
d (2), (3), (4) e (3), (4), (5)

解答：d

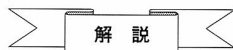


無調節時の水晶体屈折力は約20Dである（設問の屈折率は屈折力の誤りと思われる。屈折率が合っているとすれば水晶体屈折率は1.413か1.409である。いずれにしても単位が違うので、選択肢(1)は誤りである）。前嚢下には1層の水晶体上皮細胞がある。

62 完全矯正のコンタクトレンズで、+25Dが処方されている無水晶体眼の眼鏡の度数はどれか。

a +19D b +22D c +25D d +28D e +31D

解答：a

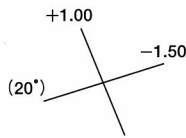


眼鏡レンズ度数と角膜頂点屈折力との関係は $A = \frac{L}{(1 - kL)}$ であらわせる。ここで、 A (D)：角膜頂点屈折力、 k (0.012/m)：眼鏡レンズ後面と角膜頂点間距離、 L (D)：眼鏡レンズ度数である。完全矯正コンタクトレンズ度数は角膜頂点屈折力と同じとみなして、上記の式に代入すると、 $25 = \frac{L}{(1 - 0.012L)}$ から L は19.2 (D)になる。完全矯正のコンタクトレンズ度数と角膜頂点屈折力とは必ずしも一致しないが、ほぼ同等と考える。

- 63 $-1.50\text{ D} \ominus \text{cyl} + 2.50\text{ D } 20^\circ$ と等しいのはどれか。
- a $+0.50\text{ D} \ominus \text{cyl} - 2.50\text{ D } 20^\circ$
 - b $+1.00\text{ D} \ominus \text{cyl} - 2.50\text{ D } 110^\circ$
 - c $+1.50\text{ D} \ominus \text{cyl} - 2.50\text{ D } 20^\circ$
 - d $+1.50\text{ D} \ominus \text{cyl} - 2.50\text{ D } 110^\circ$
 - e $+4.00\text{ D} \ominus \text{cyl} - 2.50\text{ D } 110^\circ$
- 解答：b

解 説

$-1.50\text{ D} \ominus \text{cyl} + 2.50\text{ D } 20^\circ$ で $\text{cyl} + 2.50\text{ D } 20^\circ$ は 110° 方向に $+2.50\text{ D}$ が入っている乱視であるから 110° 方向は $-1.50 + 2.50 \ominus +1.00\text{ (D)}$ のようにあわせる (下図参照)。したがって、正解は b である。



- 64 5Dの調節力をもつ眼の近点が33.3cmであるとき、遠点は眼鏡に対しどの位置になるか。
- a 前方50cm b 前方20cm c 後方20cm d 後方33.3cm e 後方50cm
- 解答：e

解 説

無限遠～33.3cmまでは3Dの調節でよい。5Dの調節力をもっているので、この眼は2Dの遠視である。2Dの遠視の遠点は眼鏡レンズ後面から50cmにある。

- 73 コンタクトレンズで正しいのはどれか。
- a 多焦点コンタクトレンズは回折型が多い。
 - b カラーコンタクトレンズはハードコンタクトレンズが多い。
 - c piggyback レンズシステムは2枚のコンタクトレンズの組合わせである。
 - d ソフトコンタクトレンズのフィッティング検査にはフルオレセインを用いる。
 - e トーリックコンタクトレンズはハードコンタクトレンズに比べて乱視の矯正に向かない。
- 解答：c

解 説

現在、多焦点コンタクトレンズは同時視型が多い。最近、カラーコンタクトレンズはソフトコンタクトレンズに多い。ソフトコンタクトレンズのフィッティングにフルオレセインを使用するとレンズが染色されるので使用しない。トーリックコンタクトレンズは乱視矯正用レンズで、通常の球面のハードコンタクトレンズに比べて乱視矯正によいのは当然である。設問はトーリックソフトコンタクトレンズと球面のハードコンタクトレンズとの比較を問うているものと思われる。

臨床問題 2問

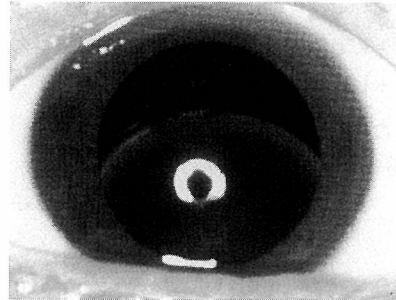
30 4歳の男児。最近テレビに近づいて物を見ることに両親が気づき来院した。右眼前眼部の写真を別図30に示す。左眼も同様である。

右眼の屈折状態はどれか。

- a +12.50 D
- b +2.50 D ⊂ cyl+3.00 D 45°
- c +0.25 D
- d -3.50 D
- e -8.00 D ⊂ cyl-2.25 D 120°

解答：e

図30



(問題30)

解説

別図から水晶体脱臼である。テレビに近づいて見るとのことで、図からもわかるが脱臼水晶体を通して見ていると考えられる。したがって、強い近視と乱視があると思われる。

45 各種検査データを別図45に示す。

眼内レンズ度数の計算に必要なのは別図のどれか。2つ選べ。

- a ㉠ b ㉡ c ㉢ d ㉣ e ㉤

解答：a, e

図45

㉠	Cen mm	D	AX
	8.03	42.00	4
	7.65	44.12	94
	< 7.84 >	-2.12	4

㉡	SPH	CYL	AX
	-5.75	-2.25	7
	-5.75	-2.25	6
	-5.75	-2.50	7
	-5.75	-2.25	6.1

㉢	Actual	
1:	587 μm	6: 589 μm
2:	582 μm	7: 595 μm
3:	588 μm	8: 587 μm
4:	588 μm	9: 587 μm
5:	588 μm	10: 587 μm
Avg : 588 μm SD : 3.0 μm		

㉣	14	
	16	
	14	
AUG 14.7		

㉤	8. Avg: on 9. Clear avg.		
	ACD:3.70mm Lens:4.16mm		
	ALX: 26.02mm		

ACD Lens ALX		
1:	3.72	4.19 25.97
2:	3.63	4.23 25.95
3:	3.70	4.17 25.94
4:	3.59	4.22 26.02
5:	3.72	4.08 26.03
6:	3.60	4.23 26.18
7:	3.80	4.14 26.09
8:	3.76	4.15 25.99
9:	3.80	4.09 26.06
10:	3.72	4.11 25.99
sd:	.073	.053 .0696

解説

SRK 式での眼内レンズの計算には強弱主経線上の角膜屈折力の平均値、眼軸長と眼内レンズで決まっている常数が用いられる。a は角膜屈折力の平均値、b は屈折度、c は角膜の中心厚、d は眼圧、e は眼軸長である。