

---

総 説

---

## メタンプラズマコーティングを行ったシリコンハイドロゲル コンタクトレンズの評価

松沢康夫

チバビジョン株式会社

### Evaluation of Methane Plasma Coating Applied for Silicone Hydrogel Contact Lens

Yasuo Matsuzawa

CIBA Vision

---

キーワード：コンタクトレンズ，メタンプラズマコーティング，O<sub>2</sub>オプティクス

Key Words: Contact Lenses, Methane Plasma, O<sub>2</sub>OPTIX

---

#### 1. はじめに

高い酸素透過性を有するシリコンハイドロゲル材料を用いたコンタクトレンズ（以下 CL）が欧米で発売されてから数年が経ち、日本では昨年の10月に O<sub>2</sub>OPTIX という商品名で最初のシリコンハイドロゲル CL がチバビジョン株式会社から発売された。O<sub>2</sub>OPTIX は従来の含水性ソフト CL に比べると、乾燥感が少なく<sup>1)</sup>タンパクなどの付着によるレンズの汚れが少ないという特徴を有し<sup>2)</sup>、欧米ではすでに30日間の長期連続装用レンズとして使用されている。

シリコンハイドロゲルを主材料とした O<sub>2</sub>OPTIX は、レンズ表面にプラズマという特殊技術を用いて薄膜を生成し、シリコンハイドロゲル素材を完全にコーティングした CL である<sup>3)</sup>。そのため、従来のシリコン樹脂に由来した表面性質が大幅に改善されている。ここでは、その O<sub>2</sub>OPTIX 表面のコーティングに応用されたメタンプラズマコーティング技術およびユニークな表面性質について紹介する。

#### 2. メタンプラズマコーティング

##### 1) プラズマコーティング

プラズマコーティングは真空条件下で電気的なエネルギーを加えることにより、ガス状物質が活性化し、化学反応を引き起こす特殊な技術である。図1に示すように、活性化されたガスは真空槽でプラズマ放電を起こす。

プラズマを利用して CL の装用感を高める試みは数多くなされた<sup>4, 5)</sup>が、ハイドロゲル CL への工業的利用例は少ない。それは、第一にレンズが水を含むことは細心の注意を要するほか、ガスの種類の選択や圧力など未知の条件が多々あったためである。チバビジョン社ではこれらの問題に挑戦し、メタンと空気の混合ガスを使用して CL 製造に要求される条件を満たした連続プラズマ技術の開発に成功した。とくに、この技術ではレンズの取り扱い方法に工夫を凝らし、同時にレンズの両面を均一に薄膜でコーティングすることを可能にした<sup>6)</sup>。

---

別刷請求先：140-0002 東京都品川区東品川 2-2-24 天王洲セントラルタワー13階 チバビジョン(株) 学術  
保坂幸一

(2006年2月23日受理)

Reprint requests to: Koichi Hosaka CIBA Vision

Tennoz Central Tower 13F, 2-2-24 Higashi-Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0002, Japan

(Received and accepted February 23, 2006)



図1 真空槽で励起されたプラズマ

コーティングは気相反応のため、レンズ表面を均一に覆うことができる。コーティングに使用したプラズマ装置の概略を図3に示す。工程は真空中で行われ、コーティングされるレンズは専用のホルダー(図4)にのせられ、ロードロックシステムを経て大気中からバッファ室を通り、メタンと空気の混合ガスのプラズマ中をある速度で通過する。通過する際、レンズの両面をプラズマ雰囲気中に均一にさらすことにより一定の厚さのコーティングが可能になる。

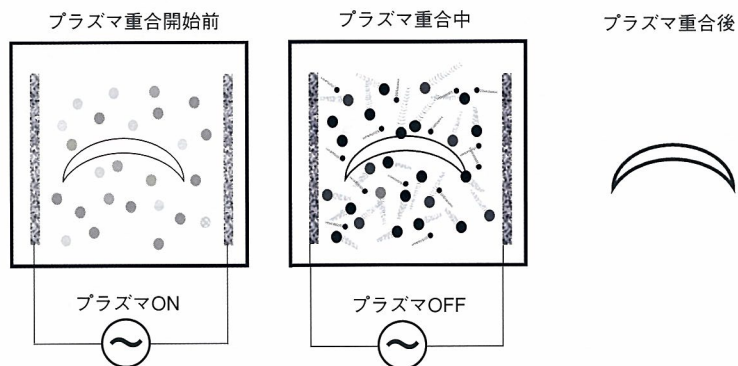


図2 プラズマ雰囲気での気相反応

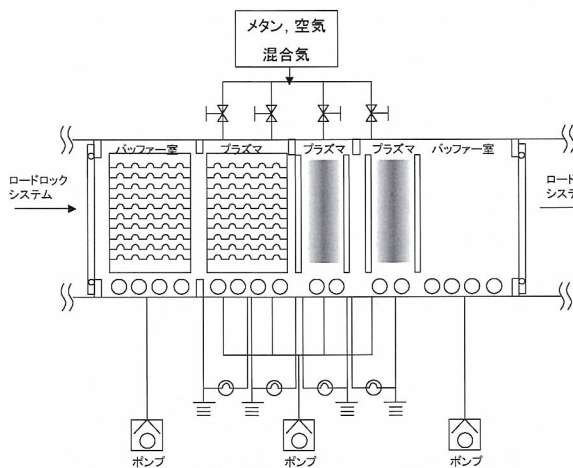


図3 O<sub>2</sub>OPTIXのプラズマコーティング装置

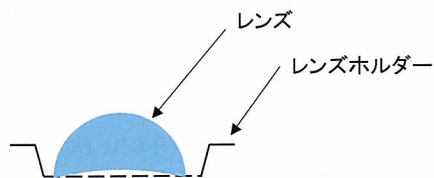


図4 細いワイヤーで作られたホルダー上にのせられたレンズ

## 2) メタンプラズマコーティング

メタンは最も小さな炭化水素であり、プラズマ中では水素が脱離し様々な活性種を生成し、炭素を主とした緻密な架橋構造をもった薄膜を生成する<sup>9)</sup>。反応に寄与するガスは図2に示すように活性化される。



図5 Ellipsometerによる厚さの測定

### 3. メタンプラズマコーティングの性質

#### 1) コーティングの厚み

レンズ上での直接的膜厚測定が困難なため、シリコンウェハー上にコーティングされた厚みを偏光解析器 (Ellipsometer) (図5) という光学機器を用いて測定し、レンズ上での厚さを推定する。コーティングの厚さはプラズマ滞在時間に支配され、その関係は図6に示すとおりである。レンズに最適な膜の厚さは、シリコンウェハー上ではほぼ20nm程度の領域で、約130秒程度のプラズマ滞在時間でこの厚さを達成でき、レンズ両面に均一なコーティングが形成される。

#### 2) コーティングの化学的組成

コーティングの化学的組成はX-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) (図7) を用いて測定する。

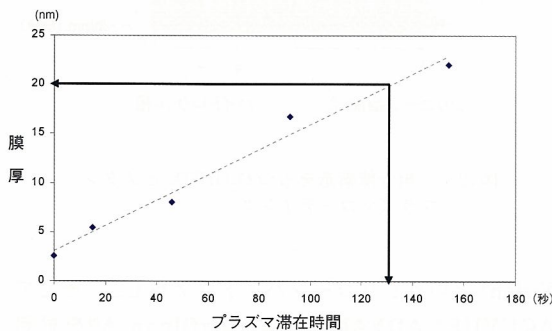


図6 コーティングの厚さとプラズマ滞在時間

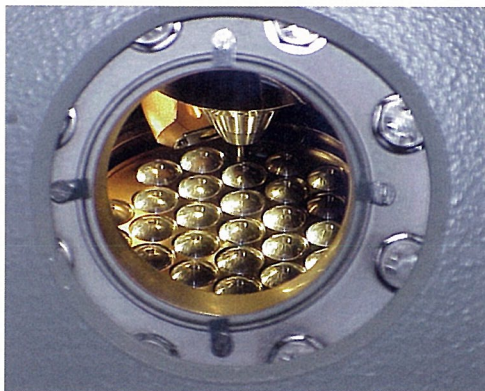


図7 X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) 装置

プラズマコーティングによる加工前後の化学的な表面組成を調べた結果を図8に示す。コーティング前のレンズ表面には、炭素、窒素、酸素、シリコンとフッ素が検出されるが、コーティング後にはシリコンとフッ素元素が消失していることから、レンズの表面が完全にメタンプラズマコーティングによって被覆されていることが推測される。

コーティングによる表面の被膜の耐久性は膜厚に強く依存する。コーティングされたレンズを121℃で20分の高圧蒸気滅菌を繰り返すことにより化学的組成の変化をみると、コーティングの厚さがほぼ20nmで、フッ素およびシリコン元素の変化がなく安定したコーティングが形成されたことがわかる (図9, 10)。

### 4. O<sub>2</sub>OPTIX

#### 1) シリコンハイドロゲルレンズ原材料:

##### Lotrafilcon A

Lotrafilcon AはO<sub>2</sub>OPTIXのレンズ基材で酸素透過成分として、フッ素系シリコン樹脂とハイドロゲル成分の材料であるポリジメチルアクリルアミド (Poly-DMA) を含む材料である<sup>6)</sup>。化学構造は図11に模式的に示した。フルオロシリコン樹脂はフッ素を含むことにより、レンズ材料の汚れに対して抵抗を高めるもので、更にlotrafilcon Aは疎水性モノマーであるメタクリルオキシプロピルトリス (トリメチルシロキシ) シラン (以下 TRIS) と親水性モノマーのDMAとを共重合成分として含む。TRISは機械的

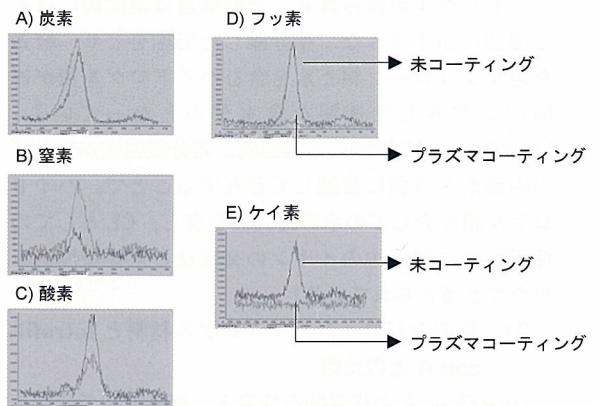


図8 プラズマコーティングしたO<sub>2</sub>OPTIXのXPSによる表面分析: A) 炭素, B) 窒素, C) 酸素, D) フッ素, E) ケイ素

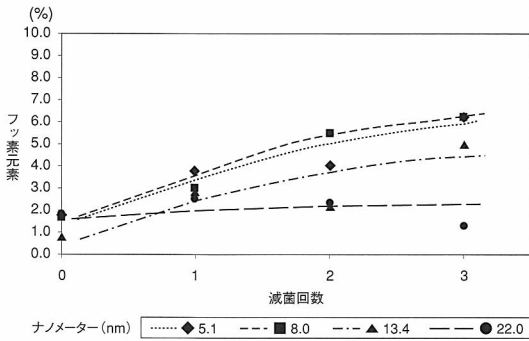


図9 繰り返し滅菌処理によるフッ素元素の変化

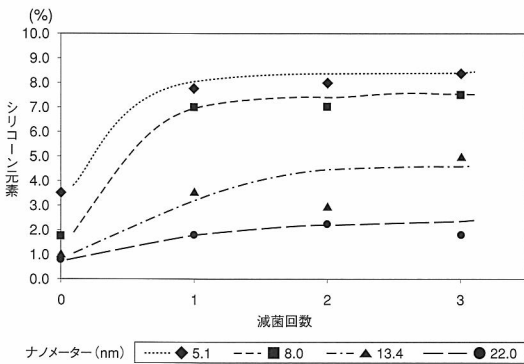


図10 繰り返し滅菌処理によるシリコン元素の変化

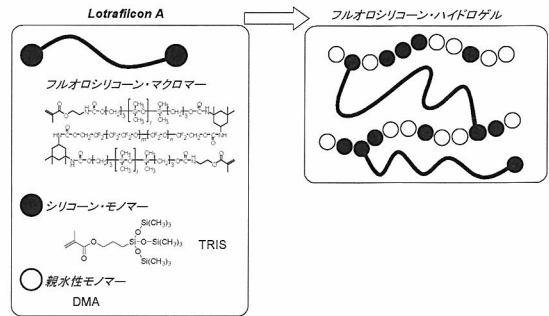


図11 シリコンハイドロゲル (Lotrafilcon A)

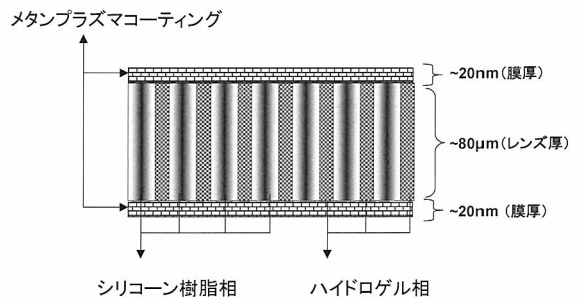


図12 二相分離構造をもつ O<sub>2</sub>OPTIX とメタンプラズマコーティング

性質の改善，更に酸素透過性改善の目的から加えられたものである。

Lotrafilcon Aはその溶媒とともに鋳型に注入され紫外線照射により重合され，3次元化したシリコンハイドロゲルが作られる。その構造は模式的にみると図12に示すような二相分離した形態をとり，酸素を通すシリコン相と水を含むハイドロゲル相が連続的に共存した透明な含水ゲルとなっている。Lotrafilcon Aの特徴はこの連続二相分離構造がレンズの内側から外側に連続して存在することで，ハイドロゲル相を介しての水の透過性を有し，CLとしての使用の際に涙液中のイオンの交換など重要な役割を果たすと考えられている<sup>7)</sup>。

## 2) 他のシリコンハイドロゲル材料と lotrafilcon A との比較

Lotrafilcon Aの代表的な性質を，海外ですでに発売されているシリコンハイドロゲルCL製品の他の材料と比較したものを表1にまとめた。Lotrafilcon AはそのCL商品名を O<sub>2</sub>OPTIX, Balafilcon A<sup>®</sup>)は Pure

Vision<sup>®</sup> というシリコンハイドロゲルCL，そして ACUVUE<sup>®</sup> ADVANCE<sup>®</sup> は galyfilcon A<sup>®</sup>)を材料としたシリコンハイドロゲルCLである。これらの材料の化学的組成はそれぞれ異なり，lotrafilcon Aは先に述べたようにフッ素系シリコンとDMAの共重合体であり，特許からの推定によると，balafilcon Aは，尿素結合により親水性を向上したTRISモノマーとN-ビニルピロリドン（以下 NVP）との共重合体，galyfilcon Aが水酸基によって親水性を向上したTRISモノマーをもとに，親水性モノマーであるNVPやヒドロキシエチルメタクリレート（HEMA）との共重合体である。

含水率は lotrafilcon Aが24%，balafilcon Aが36%，そして galyfilcon Aが47%となり，酸素透過性は含水率に反比例して，Dk/t値で見ると，175 Barrerの lotrafilcon A, 110 Barrerの balafilcon A, 86 Barrerの galyfilcon Aとなっている。これらの材料を用いて作られたレンズはいずれも疎水性であり，CLとしての実用化のためなんらかの方法でその表面性質を改善

表1 各種シリコンハイドロゲルの特徴

USAN	Lotarfilcon A	Balafilcon A	Galyfilcon A
商品名	O <sub>2</sub> OPTIX	PureVision	Acuvue Advance
製造会社	CIBA Vision	Bausch&Lomb	Vistakon
含水率 (%)	24	36	47
Dk/t	175	110	86
表面処理	メタンプラズマコーティング	酸化プラズマ処理	表面処理なし Hydraclear の溶出
化学的成分	DMA, TRIS, Fluorosilicone	NVP, HEMA, TRISVC	SIGMA, DMA, HEMA

DMA: *N, N*-dimethylacrylamide

TRIS: 3-methacryloxypropyltris (trimethylsiloxy) silane

NVP: *N*-vinylpyrrolidone

HEMA: 2-hydroxyethyl methacrylate

TRISVC: 3-(vinyloxycarbonylthio) propyltris (trimethylsiloxy) silane

SiGMA: 3-methacryloxy-2-hydroxypropylbis (trimethylsiloxy) methylsilane

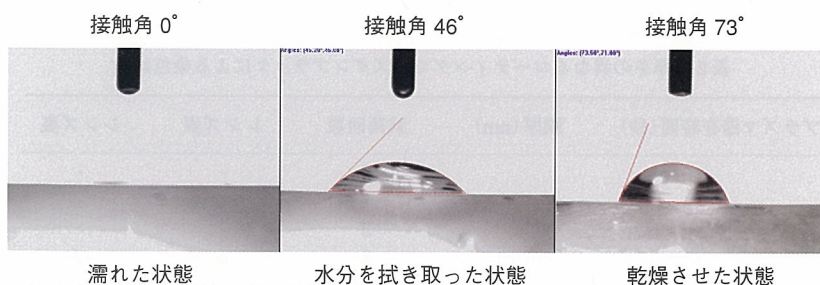
プラズマコーティング前の濡れ



プラズマコーティング後の濡れ



図13 プラズマコーティング前後のレンズ表面の濡れの変化

図14 O<sub>2</sub>OPTIX の異なるレンズ状態での接触角

しなければならない。Balafilcon A は酸素プラズマ処理, galyfilcon A は親水性高分子であるポリビニルピロリドン (PVP) の溶出効果<sup>10)</sup>, そして lotrafilcon A はメタンプラズマコーティングにより表面性質を改善している。

### 3) レンズ表面の濡れ

コーティング前の表面は疎水性で水をはじくが、コーティングにより水はレンズ表面に広がり濡れるようになる。この状態を図13に示す。更に、レンズの表面の状態（濡れた状態、水を拭き取った状態、

そして乾燥させた状態) でみると図14に示すような変化を示す。濡れた状態では接触角が0°, 表面の水を拭き取ってみると46°, そして真空乾燥機で2時間乾燥の状態では73°という値で、いずれも親水性を示している。また、拭き取りと乾燥状態の接触角の差が小さく27°であり、これは表面がかなり安定した状態であることを示している。参考までに、他のシリコンハイドロゲルレンズで同じ試験をすると、拭き取りおよび乾燥状態では110°以上の高い接触角を示し、

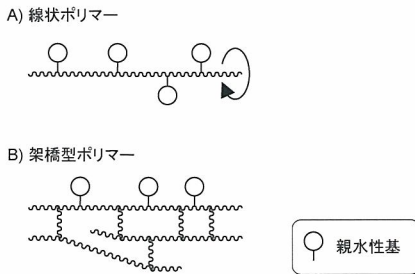


図15 ポリマーのタイプの違いによる、親水性基の回転性の違い

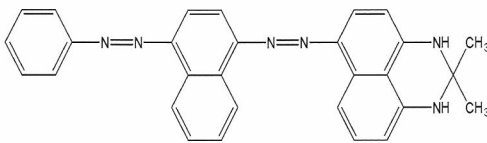


図16 ズダンブラック染料の化学構造

疎水性を示す<sup>10)</sup>。このような接触角による表面履歴の変化を模式的にみると(図15), メタンプラズマコーティングでは架橋した緻密な表面構造が存在するため、表面履歴が小さい原因となっている。

4) 表面バリア特性

プラズマコーティングの緻密な膜構造はズダンブラック(図16)という染料を用いて染色試験をすると、表面バリア特性を示すという点も O<sub>2</sub>OPTIX の特徴である。ズダンブラックは油性染料でシリコン樹脂とのなじみがよく、その結果シリコン樹脂部分が青く染まる。先の濡れ試験同様、レンズ表面状態を濡れ、拭き取り、乾燥の三つの状態におく。染料試験の結果は図17に示すように、プラズマコーティングのないレンズは、いずれの状態でも青く染まり、プラズマコーティングをしたレンズは全く染まらないという結果である。プラズマコーティングがズダンブラックのレンズ材料内部への取り込みを防いで

	濡れ	拭き取り	乾燥
未コーティング			
コーティング処理後			

図17 O<sub>2</sub>OPTIXの異なるレンズ状態でのズダンブラックによる染色試験

表2 厚さの異なるコーティングでのズダンブラックによる染色試験

プラズマ滞在時間(秒)	膜厚(nm)	減菌回数	レンズ表	レンズ裏
45	8.0	0	-	-
		1	-	-
		2	-	-
		3	+	+/-
72	13.4	0	-	-
		1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
130	22.0	0	-	-
		1	-	-
		2	-	-
		3	-	-

nm : ナノメートル

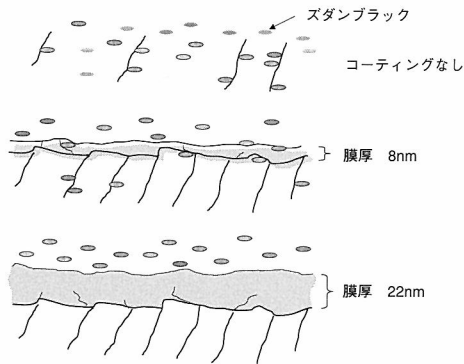


図18 コーティング厚のバリア特性への影響

いることがわかる。この特性もコーティング厚に依存し、表2に示すようにコーティングが薄いと3回目の滅菌処理で染色される。しかしながら、コーティングが一定の厚さ以上（ほぼ13nm以上）では121℃で20分の高圧蒸気滅菌を繰り返してもレンズの染色がみられず、安定したコーティング膜によるバリア性を示している。

この染色試験によるプラズマコーティングのバリア性を模式的にみると（図18）、コーティングが薄いときは、コーティング中の欠陥構造、すなわちクラックなどにより染色が起こるが、ある一定のコーティング厚ではこれら欠陥構造の影響もなく、完璧なバリア性質を示すようになる。

## 5. おわりに

シリコンハイドロゲルレンズの製造において、産業廃棄物が出ず環境にやさしく、大量生産が可能でかつ生産コストの安いプラズマコーティングの導入なしにはO<sub>2</sub>OPTIXの誕生はあり得なかった。前記

の装置を用いてコーティングを行うと1時間に5,000枚のレンズに表面被膜を行うことができる。

また、メタンプラズマコーティングによる被膜は約20nmという超薄膜のため、シリコンハイドロゲル材料自身の性質、すなわち酸素透過性などの性質を変えずに、表面だけに影響し、濡れ特性やバリア性などの安定かつ耐久性のある表面を提供している。

シリコンハイドロゲルレンズの生産および表面性質改善におけるメタンプラズマコーティングの役割は大きいといえる。

## 引用文献

- 1) 渡邊 潔：ドライアイに対するシリコンハイドロゲルコンタクトレンズ。あたらしい眼科 22: 1335-1338, 2005.
- 2) Mckenny C, Thomas S et al: Lens deposits with a high Dk hydrophilic soft lens. Optom Vis Sci 75: 276, 1998.
- 3) 松沢康夫：シリコンはハイドロゲルコンタクトレンズの基礎知識（表面性質について）。あたらしい眼科 22: 1315-1324, 2005.
- 4) Hamm HA: Teflon coating on edge of contact lens. US Patent 3,389,012, 1968.
- 5) Yasuda H, Koziol JE et al: Evaluating a new silicone polymer contact lens. Arch Ophthalmol 101: 1779, 1983.
- 6) Matsuzawa Y & Winterton L: Lens plasma coating system. US Patent 6,881,269, 2005.
- 7) Ho CP & Yasuda H: Ultrathin coating of plasma polymer of methane applied on the surface of silicone contact lenses. J Biomed Mater Res 22: 919-937, 1988.
- 8) Nicolson PC, Baron RC et al: Extended wear ophthalmic lens. US Patent 5,760,100, 1998.
- 9) Nicolson PC & Vogt J: Soft contact lens polymers, an evolution. Biomaterials 22: 3273-3283, 2001.
- 10) McCabe KP, Molock FF et al: Biomedical devices containing internal wetting agent. World Patent 03/022321A2, 2003.
- 11) Bambury RE & Seelye DE: Vinyl carbonate and vinyl carbamate contact lens material monomers. US Patent 5,070,215, 1991.

原 著

## 強度近視眼における有水晶体眼内レンズ挿入術前後のコントラスト感度

田村千春<sup>1)</sup>, 相澤大輔<sup>1)</sup>, 鈴木雅信<sup>1)</sup>, 魚里 博<sup>2)</sup>,  
藤澤邦俊<sup>1)</sup>, 庄司信行<sup>1, 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視覚機能療法学専攻

## Contrast Sensitivity after Phakic Intraocular Lens Implantation in Highly Myopic Eyes

Chiharu Tamura<sup>1)</sup>, Daisuke Aizawa<sup>1)</sup>, Masanobu Suzuki<sup>1)</sup>, Hiroshi Uozato<sup>2)</sup>,  
Kunitoshi Fujisawa<sup>1)</sup>, Nobuyuki Shoji<sup>1, 2)</sup> and Kimiya Shimizu<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Ophthalmology, Kitasato University Hospital

<sup>2)</sup> Department of Rehabilitation, Orthoptics and Visual Science Course, Kitasato University School of Allied Health Sciences

有水晶体眼内レンズ挿入術前後のコントラスト感度を比較検討した。対象は北里大学病院眼科において有水晶体眼内レンズ<sup>®</sup> (ICL<sup>™</sup>: Implantable Contact Lens, Staar Surgical 社) 挿入術を施行した男性12例, 女性13例の計25例45眼。平均年齢は34.4歳(21~50歳)。方法は, 術前と術後3ヵ月後にVCTS 6500<sup>®</sup> (Vistech 社) を用いてコントラスト感度を, logMAR 近距離視力表<sup>®</sup> (日本点眼薬研究所) を用いて低コントラスト視力を, 遠方完全屈折矯正眼鏡装用下で測定した。コントラスト感度は全空間周波数領域において, 術後有意な感度上昇が認められた ( $p < 0.01$  Wilcoxon の符号順位検定)。低コントラスト視力は術前後で有意な変化はみられなかったものの, 術後やや上昇傾向にあった。強度近視眼における有水晶体眼内レンズ挿入術はコントラスト感度を改善させる可能性が示唆された。  
(視覚の科学 27: 34-38, 2006)

キーワード: 有水晶体眼内レンズ, ICL<sup>™</sup>, 強度近視, コントラスト感度

To evaluate changes in contrast sensitivity after implanting of phakic intraocular lens (IOL) (ICL<sup>™</sup>: Implantable Contact Lens, Staar Surgical). The subjects comprised 45 eyes of 25 patients with underwent phakic IOL implantation at the Department of Ophthalmology, Kitasato University Hospital. Average patient age was 34.4 years (range, 21-50 years). Preoperatively and at 3 months postoperatively, with best-correcting glasses, contrast sensitivity was examined using the VCTS 6500<sup>®</sup> chart; low-contrast visual acuity was examined using the logMAR near visual acuity tester<sup>®</sup>. Contrast sensitivity was significantly improved at all frequencies ( $p < 0.01$ ). Low contrast visual acuity change was not significant, but showed slight improvement postoperatively. Phakic IOL implantation for highly myopic eyes is suggested as offering potential improvement in contrast sensitivity.  
(Jpn J Vis Sci 27: 34-38, 2006)

Key Words: Phakic intraocular lens, ICL<sup>™</sup>, High myopia, Contrast sensitivity

別刷請求先: 228-8555 相模原市北里1-15-1 北里大学病院眼科 田村千春  
(2006年3月2日受理)

Reprint requests to: Chiharu Tamura Dept of Ophthalmology, Kitasato Univ Hosp  
1-15-1 Kitasato, Sagami-hara 228-8555, Japan  
(Received and accepted March 2, 2006)



### 1. 緒 言

現在の屈折矯正手術は、エキシマレーザーによる角膜屈折矯正手術が主流となっている。しかし、photorefractive keratectomy (以下 PRK), laser in situ keratomileusis (以下 LASIK) のような角膜屈折矯正手術では角膜光学領に侵襲を加えるため角膜収差が増大し、それに起因してコントラスト感度の低下がみられると多数報告されている<sup>1-8)</sup>。北里大学病院 (以下 当院) においても、中島らは-6D をこえる強度近視眼に対する LASIK では低コントラスト視力を低下させることを報告し<sup>9)</sup>、相澤らは-1~-10.0D (平均-6.0D) の近視眼に対する wavefront-guided LASIK 後のコントラスト感度は、1.5 cycle/degree (以下 c/d) で感度上昇、それ以外の領域では有意な変化はなかった、と報告している<sup>10)</sup>。一方、新たな屈折矯正手術法として、有水晶体眼に対し眼内レンズ (以下 IOL) を挿入する方法が注目されている。この術式により、これまでの屈折矯正手術では矯正困難であった高度屈折異常も矯正可能になった<sup>9-14)</sup>。しかし、従来の視力検査だけでは十分な視機能評価ができないことが認識されるようになり、コントラスト感度の評価が重要となってきた<sup>15, 16)</sup>。そこで今回、有水晶体 IOL 挿入眼におけるコントラスト感度を術前後で比較検討したので報告する。

### 2. 方 法

対象は2003年5月~2004年6月までの間に当院において、強度近視眼に対し有水晶体 IOL 挿入術を行った全36例61眼中、術前等価球面度数-6.00D以上の近視、年齢50歳以下、術後3ヵ月以上の経過観察が可能であった男性12例、女性13例 (計25例45眼) である。平均年齢は34.4歳 (21~50歳) であり、術

前後の平均等価球面度数、平均裸眼視力、平均矯正視力を表1に示す。視力はすべて logMAR 値に変換し統計処理を行った。レンズは有水晶体 IOL のうち、後房型レンズの ICL™ (Staar Surgical 社) を使用した。

検討項目は、より広範囲の空間周波数領域におけるコントラスト感度を評価する目的で、コントラスト感度と低コントラスト視力を術前と術後3ヵ月に測定した (図1)。コントラスト感度測定は Vistech 社の VCTS 6500® を用いた (図2)。検査距離は2.5m、照度は500 lx 以上の明室にて遠方完全屈折矯正眼鏡着用下で行った。低コントラスト視力測定は日本点眼薬研究所製の logMAR 近距離視力表® を用いた (図

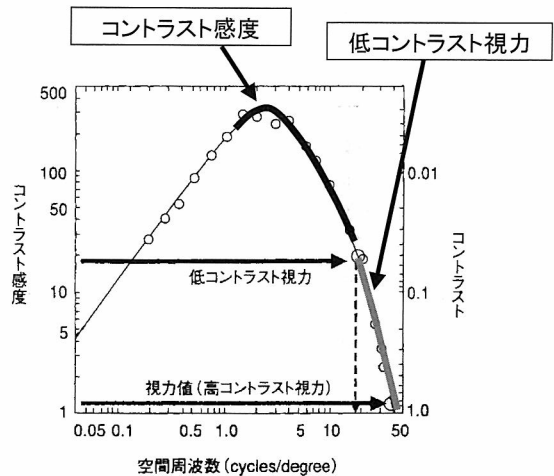


図1 コントラスト感度と低コントラスト視力の関係 (文献15) より引用

表1 対象

	術前の 平均値	術後(3ヵ月) の平均値
等価球面度	-10.84 ± 2.8D	-0.21 ± 0.5D
裸眼視力	0.03	1.23
矯正視力	1.41	1.66

n=45

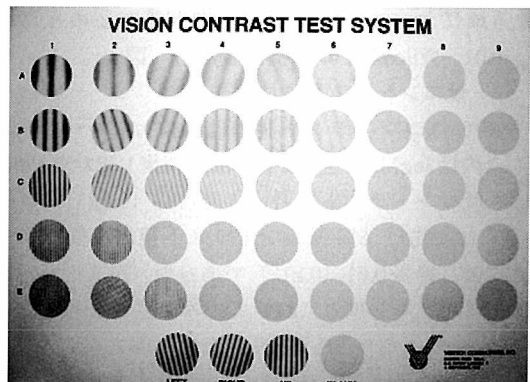


図2 VCTS 6500® (Vistech 社)

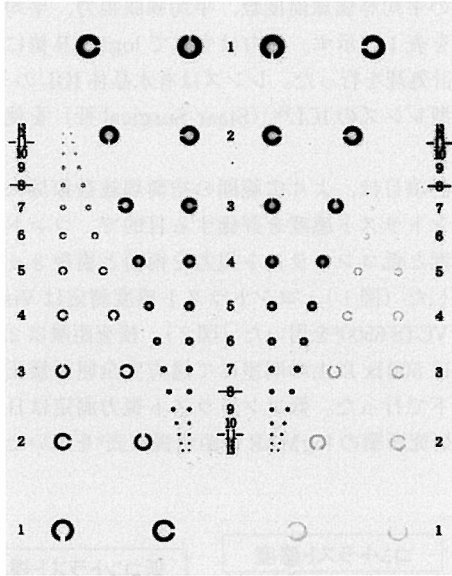


図3 LogMAR 近距離視力表<sup>®</sup> (日本点眼薬研究所)

3)。検査距離は50 cm, 照度は500 lxの明室にて遠方完全屈折矯正眼鏡装用下で行った。当表は中央が約100%の高コントラスト, 左側に約25%, 右側に約6%の低コントラストで, 各コントラストは小数視力0.1~1.5まで13段階の視標で構成されている。

### 3. 結 果

#### 1) コントラスト感度

コントラスト感度は1.5 c/dでは術前35.7, 術後65.0, 3 c/dでは術前83.0, 術後125.0, 6 c/dでは術前81.5, 術後127.5, 12 c/dでは術前40.9, 術後68.4, 18 c/dでは術前12.3, 術後23.0であり, 全空間周波数領域において術後有意に感度上昇が認められた ( $p < 0.01$ , Wilcoxonの符号順位検定) (図4)。

#### 2) 低コントラスト視力

100%高コントラスト視力は術前1.17 (-0.070) (( )内はlogMAR値 以下同様), 術後1.32 (-0.120), 25%低コントラスト視力は術前0.95 (0.021), 術後0.99 (0.005), 6%低コントラスト視力は術前0.56 (0.249), 術後0.61 (0.217)であった(図5)。100%高コントラスト視力においてのみ有意な上昇がみられた。低コントラスト視力は25%, 6%ともに, 統計学的に有意差は認められなかったがすべて上昇傾向であった(Wilcoxonの符号順位検定)。

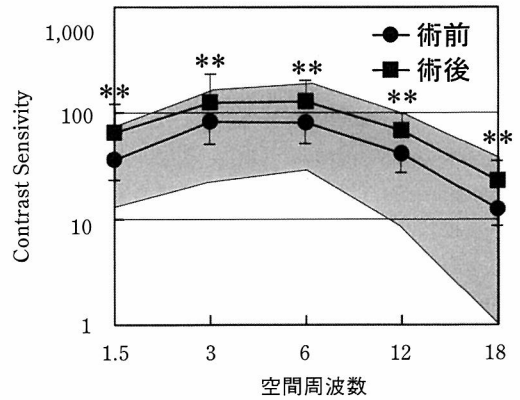


図4 コントラスト感度 (n=45)  
グレーの領域は正常範囲。全空間周波数領域において, 術前に比し術後の感度上昇が認められた。  
\*\*  $p < 0.01$ , Wilcoxonの符号順位検定

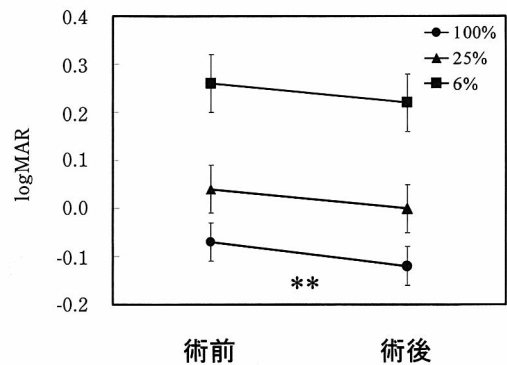


図5 低コントラスト視力 (n=45)  
100%高コントラスト視力において, 術前に比し術後視力の上昇が認められた。  
\*\*  $p < 0.01$ , Wilcoxonの符号順位検定

### 4. 考 按

屈折矯正手術の発展により患者の quality of vision (QOV) は高まりつつあり, 見え方の質を評価する上でコントラスト感度測定は非常に有用である<sup>15, 16)</sup>。過去の角膜屈折矯正手術前後におけるコントラスト感度の報告をまとめると, PRKは全空間周波数領域で感度低下<sup>2, 3)</sup>, LASIKは低下<sup>4)</sup>または不変<sup>5)</sup>, wavefront-guided LASIKでも1.5 c/dのみ感度上昇を示すがそれ以外は不変<sup>6)</sup>といわれている。低コントラスト視力ではPRKは低下<sup>7)</sup>, LASIKでも強度近視眼において低下するといわれている<sup>4, 8)</sup>。このように角膜屈折矯正

手術では、角膜中心部を切除するための光学的侵襲がコントラスト感度を低下させている可能性が高いと思われる。大鹿は PRK, LASIK 術前後での角膜高次収差とコントラスト感度について検討し、両手術ともに術後有意に角膜高次収差は増え、また LASIK 眼では高次収差が大きいほどコントラスト感度低下も強いと報告している<sup>12)</sup>。一方、有水晶体 IOL に関しても数例の報告がされており、虹彩支持型の Artizan® (Worst) では術後コントラスト感度は全体的に低下し<sup>13)</sup>、虹彩支持型のトーリックレンズでは、中間周波数領域 (6c/d と 12c/d) では有意な感度上昇がみられたと報告している<sup>17)</sup>。

今回は二種類の異なる検査用具を用いることで、より広範囲における空間周波数領域でのコントラスト感度の上昇を確認できた。ここで、本術式においてコントラスト感度の上昇がみられた原因について、3点挙げてみる。

### 1) 術式

ICL™挿入術は角膜光学中心から最も離れた耳側角膜切開であり、また約3mmの小切開であることから角膜光学領域に及ぼす侵襲は少なく<sup>18)</sup>、これまでの屈折矯正手術と比べコントラスト感度の低下がみられなかったのではないかとと思われる。

### 2) 網膜像の拡大・縮小効果

眼鏡の場合、入射瞳中心から矯正レンズ後面までは15mm離れており、その差から網膜像の縮小効果が生じる<sup>19)</sup>。それに対し、ICL™はレンズがちょうど入射瞳中心付近に位置し、レンズ後面との距離がほぼゼロとなるため、レンズの強度にかかわらず、理論上縮小効果が起こらない<sup>20)</sup>。今回の対象は、術前は眼鏡矯正、術後はICL™と眼鏡による追加矯正で検査を施行したため、術前は約80~90%に縮小されていた網膜像が術後はほとんど縮小効果を生じず、このことがコントラスト感度上昇に影響したのではないかと考えた。また、強度近視眼では眼鏡装用時、網膜像の縮小により高空間周波数領域の格子縞に対する感度低下が起こるといわれ、眼鏡レンズの光学中心以外では、非点収差やコマ収差により光学性能が低下すること<sup>21)</sup>から、拡大縮小効果はコントラスト感度に大きく影響しているものと思われる。

### 3) ダブルレットレンズ効果

水晶体の凸レンズとICL™の凹レンズの組み合わせがダブルレットレンズの効果となり、球面収差と色収差の発生する向きを逆にし、これらの収差が減少す

る<sup>22)</sup>ことでコントラスト感度上昇に影響を与えたのではないかと考えた。

今回検討した以外にも、コントラスト感度と高次波面収差は密接に関連していることが報告されており<sup>4, 23)</sup>、今後それらの関連についても検討していく必要があると思われた。また、今回の症例中に重篤な合併症を認めるものはなかったが、今後長期にわたる経過観察が必要と思われた。

本術式は裸眼視力を改善するのみならず、コントラスト感度の上昇に伴って、より良好な視機能獲得の可能性が示唆された。

## 文 献

- 1) 大鹿哲郎：屈折矯正手術と視機能。あたらしい眼科 17: 1057-1062, 2000.
- 2) 水川忠彦：屈折矯正手術後の視機能変動。眼科 42: 23-36, 2000.
- 3) 富所敦男, バスタンファルド・アミレン他：Photorefractive Keratectomy 術後眼におけるコントラスト感度と角膜不正乱視。日眼会誌 104 (臨増)：140, 2000.
- 4) 大鹿哲郎：視覚の質 Quality of vision を測る。日眼会誌 108: 770-808, 2004.
- 5) 榎本喜久子, 清水公也他：強度近視別 LASIK の成績。眼科手術 12: 395-399, 1999.
- 6) 相澤大輔, 小松真理他：Customized Ablation. IOL & RS 17: 271-274, 2003.
- 7) 田邊樹郎, 大鹿哲郎他：Photorefractive Keratectomy 後の低コントラスト視力と高次波面収差および角膜上皮混濁の関係。視覚の科学：23: 78-82, 2002.
- 8) 中島純子, 杉山由紀子他：LASIK 術前後の低コントラスト視力。日本視能訓練士協会誌 29: 177-183, 2001.
- 9) 清水公也：Phakic Refractive Lens (PRL)。In：白井正彦編，眼科診療プラクティス83，屈折矯正手術のトラブルとケア，98-99，文光堂，東京，2002.
- 10) 鈴木雅信：屈折眼内レンズ。あたらしい眼科18 (臨増)：215-217, 2002,
- 11) 荒井宏幸, 坪田一男：Phakic IOL。In：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，124-125，文光堂，東京，2003.
- 12) The Implantable Contact Lens in Treatment of Myopia (ITM) Study Group: U. S. Food and Drug Administration clinical trial of the implantable contact lens for moderate to high myopia. Ophthalmology 110: 255-266, 2003.
- 13) Pineda-Fernandez A, Jaramillo J et al: Phakic posterior chamber intraocular lens for high myopia. J Cataract Refract Surg 30: 2277-2283, 2004.
- 14) Menezo JL, Peris-Martinez C et al: Phakic intraocular lenses to correct high myopia; Adatomed, Staar, and Artisan. J Cataract Refract Surg 30: 33-44, 2004.
- 15) 魚里 博：低コントラスト視力。IOL & RS 15: 200-204, 2001.
- 16) 野田 徹：視力・コントラスト感度。臨床検査 45: 1534-1542, 2001.
- 17) Dick HB, Tehrani M et al: Contrast sensitivity after implantation of toric iris-claw lenses in phakic eyes. J

Cataract Refract Surg 30: 2284-2289, 2004.

- 18) 清水公也：角膜耳側切開白内障手術. 眼科 37: 323-330, 1995.
  - 19) 河原哲夫：屈折矯正と空間周波数特性 (MTF). 眼科 Mook 18, 101-113, 金原出版, 東京, 1982.
  - 20) 魚里 博：近視の光学と眼鏡. 眼科 Mook 34, 132-148, 金原出版, 東京, 1987.
  - 21) 河原哲夫, 横田英輔他：眼鏡およびコンタクトレンズ  
矯正の空間周波数特性 (MTF) による評価. 臨眼  
35: 1203-1209, 1981.
  - 22) 永田信一：球面収差とは②. レンズがわかる本, 86-87, 日本実業出版社, 東京, 大阪, 2002.
  - 23) Bühren J, Kasper T et al: Higher order aberrations after implantation of an iris claw pIOL (Ophtec Artisan) in the phakic eye. Ophthalmology 101: 1194-1201, 2004.
-

## 解 説

平成17年度 日本眼科学会専門医認定試験問題と解答  
(眼光学・屈折・調節関係)

東京医科歯科大学 所 敬

平成17年度眼科専門医試験は平成17年6月10(金)、11日(土)の2日間にわたり全共連ビルと日本海運倶楽部で行われた。眼光学・屈折・調節関係の問題は一般問題100題中2問、臨床問題50題中1問であり、例年に比べ、最も少なかった。この領域は眼科の基礎であり、このように出題数が少ないのは残念である。

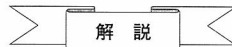
## 一般問題 100 問中 2 問

1 +5D から -3D の間のレンズを負荷したときの視力は1.5であったが、それ以外のレンズでは視力が低下した。

調節力はどれか。

- a. 2.0D
- b. 3.2D
- c. 5.0D
- d. 5.2D
- e. 8.0D

解答：e

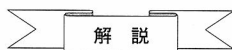


この眼の屈折度は+5Dである。+4Dのレンズを装用したときには+1Dの遠視が残っているので、1Dの調節をしなければならない。順次プラスのレンズを減じて0Dになったところで5Dの調節を、更にマイナスのレンズを装用させて-3Dのレンズになると8Dの調節をすることになる。

11 小数視力1.0のlogMAR値はどれか。

- a. -1
- b. -0.1
- c. 0
- d. 0.1
- e. 1

解答：c



logMARとは最小視角(分)の対数である。小数視力1.0の最小視角は1分であるので、 $\log\text{MAR} = \log 1 = 0$ になる。

臨床問題 50問中1問

36 20歳の男性。左眼の視力障害を主訴に来院した。視力は右1.5（矯正不能），左0.1（ $0.8 \times -3.50 \text{ D} \ominus \text{ cyl} -2.50 \text{ D} 90^\circ$ ）。左眼の角膜トポグラフィを別図36に示す。

正しいのはどれか。2つ選べ。

- a. LASIKが有用である。
- b. 乱視矯正手術の適応である。
- c. 角膜内皮細胞が障害されている。
- d. 急激に視力が低下することがある。
- e. ハードコンタクトレンズが有用である。

解答：d, e

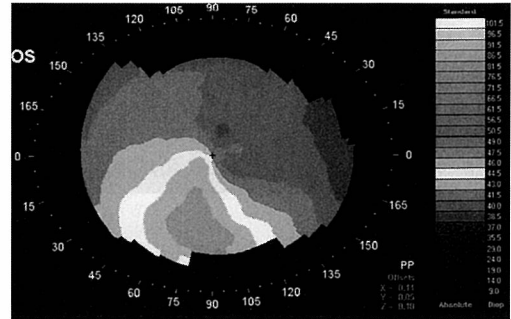


図36

解説

写真から診断は円錐角膜である。治療法としてはハードコンタクトレンズが有用である。ときに角膜水腫が起こり急激に視力が低下する。円錐角膜にはLASIKは禁忌である。また、乱視矯正手術では効果は期待できない。通常、角膜内皮細胞は減少していない。

解 説

## 第35回 視能訓練士国家試験問題解答と解説

(眼光学・屈折・調節関係)

東京医科歯科大学 所 敬

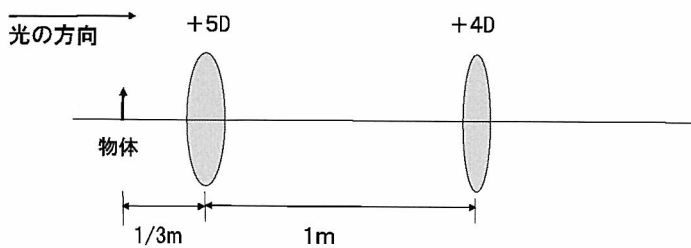
第35回 視能訓練士国家試験問題中、眼光学・屈折・調節関連問題の解答と解説を述べる。

午前

2 下図のような薄いレンズの組み合わせ光学系について次の問いに答えよ。

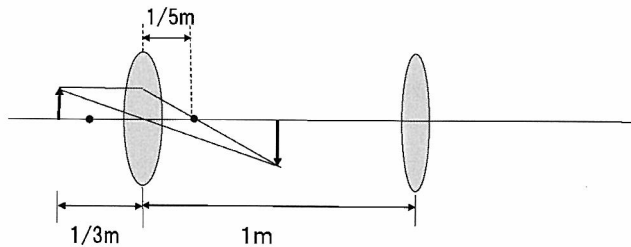
ただし、1, 2については下図を写して図示せよ。

1. 1枚目のレンズ (+5D) による物体の像はどこにできるか記せ。
2. 最終的にできる像 (最終像) はどこにできるか記せ。
3. 最終像は実像か虚像か記せ。
4. 最終像は正立か倒立か記せ。
5. 最終像の横倍率はいくらか。

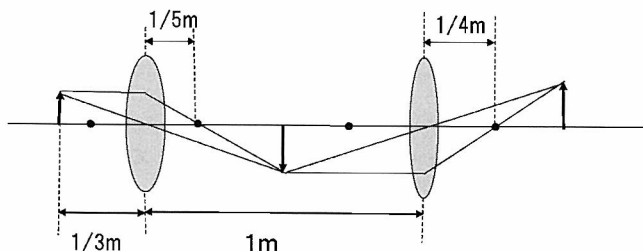


解答

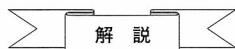
1.



2.

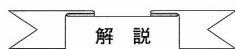


3. 実像



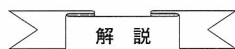
+5Dのレンズの焦点距離は1/5mで第2レンズの物体は第2レンズの焦点の外にある。したがって、像は実像になる。

4. 正立像



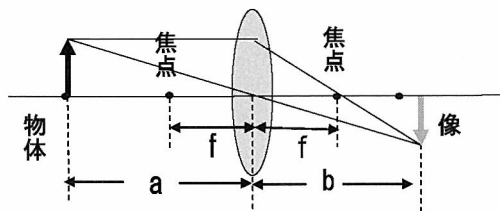
設問2の解答図による。

5. 1.5倍



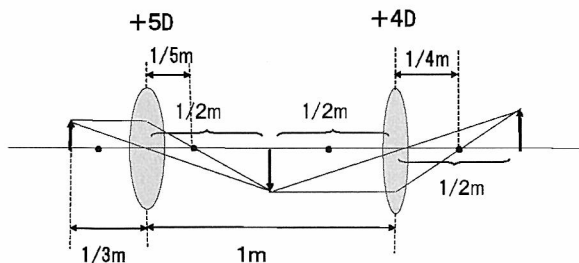
倍率とは、光学系によって生じる像の大きさの物体の大きさに対する比であらわす。物体および像の大きさとして光軸に垂直な直線状の長さをとったものを横倍率 (lateral magnification), 光軸上に沿った長さをとったものを縦倍率 (longitudinal magnification) という。普通、倍率といえば横倍率を指す。

レンズの物体と像と焦点距離との関係は下記のごとくである。



$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f} \quad (\text{距離はmであらわす})$$

(レンズから左に測った距離はマイナス, 右はプラスとする)



第一のレンズから像までの距離  $b$  は  $1/b + 3 = 5$  であるので  $1/2$  (m) になる。そこで、像の大きさは物体の大きさを  $1$ , 像の大きさを  $x$  とすると,  $1 : x = 1/3 : 1/2$ ,  $x = 2/3$  になる。第二のレンズから物体までの距離は  $1/2$  (m) であるから、像の位置  $b'$  は  $1/b' + 2 = 4$  であるので  $1/2$  (m) になる。そこで、第二のレンズによる像の大きさ  $x'$  は  $2/3 : x' = 1/2 : 1/2$ ,  $x' = 2/3$  であるから、横倍率は  $1.5$  倍になる。

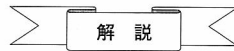


8 次の問いに答えよ。

1. 不等像視の検査法を2つ記せ。
2. 不等像視の許容範囲を記せ。
3. 軸性不同視と屈折性不同視とにそれぞれ適した非観血的屈折矯正法を1つずつ記せ。

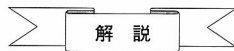
解答

1. New Aniseikonia Test (Awaya), Pola Test, Phase difference haploscope, Synoptophore, Space eikonometer などのうち、2つ書く。



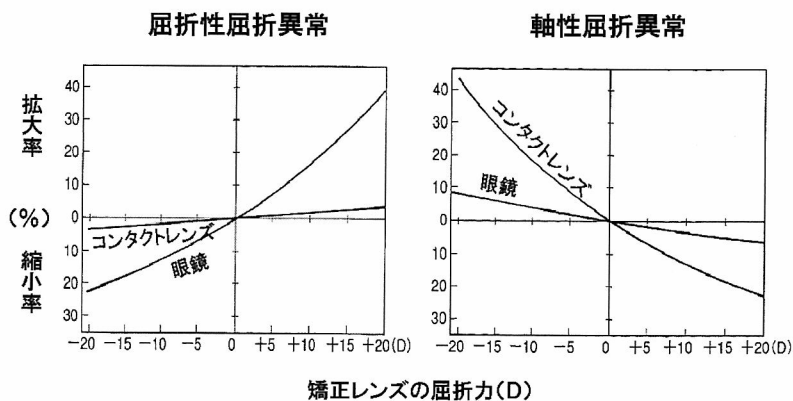
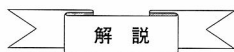
検査法の原理から2種類ある。1つは左右眼を分離して感じる像の大きさから直接測定するもので、New Aniseikonia Tests (Awaya) (赤緑眼鏡で分離), Pola Test (偏光板で分離), Phase difference haploscope (位相差の違う回転セクターで分離), Synoptophore (鏡筒により分離) などがある。もう1つは空間の見え方の違いから測定する方法で Space eikonometer があるが、5%以上の不等像視は測定できない。

2. 通常5%



報告者により、1.5~13% までである。

3. 軸性不同視——眼鏡レンズ  
屈折性不同視——コンタクトレンズ



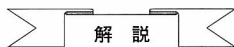
屈折性と軸性屈折異常を眼鏡とコンタクトレンズで矯正したときの網膜像の拡大・縮小は上図のごとくで、理論上は軸性不同視は眼鏡矯正、屈折性不同視はコンタクトレンズ矯正がよい。しかし、実際面では軸性屈折異常でもコンタクトレンズ矯正の方がよい場合が多い。この理由として、軸性屈折異常でも屈折性の要素が加味されていること、眼軸が短い場合や伸展している場合に、視細胞間距離が短縮したり、延長したりするため、刺激される視細胞の数は同じ可能性があること、中枢の関与があることなどが考えられる。

午後

7 水晶体について正しいのはどれか。2つ選べ。

- a. 紫外線を吸収する。
- b. 屈折力は43Dである。
- c. 核は加齢とともに硬くなる。
- d. 水晶体嚢と水晶体核からなる。
- e. 成人の水晶体の直径は12mmである。

解答：a, c



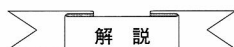
紫外線は短波長紫外線（UVC 290nm 以下）、中波長紫外線（UVB 291～320nm）、長波長紫外線（UVA 321～400nm）に分けられる。UVC はオゾン層で吸収されて地表には到達しない。UVB は角膜で吸収されて角膜障害を起こす。UVA は水晶体まで到達して白内障の原因になるといわれている。

水晶体の屈折力は約 20D、成人の水晶体の直径は約 9mm である。水晶体は水晶体嚢、水晶体皮質、水晶体核からなる。

8 視力0.2の Landolt 環の切れ目の視角はどれか。

- a. 1分
- b. 2分
- c. 3分
- d. 4分
- e. 5分

解答：e

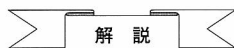


視力は1/最小視角（分）であるから、 $0.2 = 1 / \text{最小視角}$ である。すなわち、最小視角は5（分）になる。

9  $-4.00\text{D} \subset \text{cyl} - 2.00\text{D} \times 180^\circ$ の等価球面度数で正しいのはどれか。

- a.  $-2.00\text{D}$
- b.  $-3.00\text{D}$
- c.  $-4.00\text{D}$
- d.  $-5.00\text{D}$
- e.  $-6.00\text{D}$

解答：d



等価球面屈折度は（球面レンズ度+1/2円柱レンズ度）であるから  $-4.00 + (-1.00) = -5.00\text{ (D)}$  である。

10 Prentice の式で正しいのはどれか。

ただし、D はレンズの屈折力、h はレンズ光学中心からの cm 単位での距離、P は△単位の偏角を示す。

- a.  $P = hD$
- b.  $P = hD/10$
- c.  $P = h/D$
- d.  $P = D/h$
- e.  $P = 10D/h$

解答：a

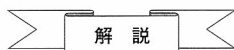


2006年6月

13 屈折率の組合わせで誤っているのはどれか。

- a. 空気——1.00
- b. ガラス——1.52
- c. 角膜——1.88
- d. 水晶体——1.41
- e. 硝子体——1.33

解答：c



角膜屈折率は1.376（角膜後面を考慮に入れた角膜同格屈折率は1.3375）である。水晶体屈折率はGullstrand略式模型眼では非調節時1.413，調節時1.424，硝子体屈折率は1.336である。