

眼科診療
ビジュアルラーニング

4

水晶体と屈折

シリーズ総編集 大鹿哲郎 筑波大学
大橋裕一 愛媛大学
編集 大鹿哲郎 筑波大学



中山書店

シリーズ刊行にあたって

学術知識の入手ルートはインターネットや DVD, さまざまな電子媒体などと多様化しているが, 一覧性のよさと使い勝手において, 書籍の価値はまだ揺るがない。きちんと編集された学術書であれば, 内容の正確性と信頼度は折り紙つきである。学問をじっくりと咀嚼して吸収するという目的にも, 書籍という形態が最もよくマッチしている。

2010 年 11 月に刊行を開始した『専門医のための眼科診療クオリファイ』は, 増え続ける眼科学の最新知識を整理し, 日本眼科学会専門医認定試験の過去問題とリンクさせることによって, 情報を深く掘り下げて提示した。このシリーズは幸いにも好評を得, 2016 年 5 月までに全 30 巻を刊行し, 多くの眼科専門分野をカバーすることができた。しかしながら, シリーズが続き巻数を重ねるほど, 読者が知りたい情報がどの巻にあるのか探すのが難しくなるという側面, またテーマが細分化することで記述が詳しくなりすぎるという面もあった。

そこで今回, このシリーズをサブスペシャリティ別に再編し, 関連分野を統合整理した形でのあらたなシリーズ『眼科診療ビジュアルラーニング』を企画した。各巻を“1. 基礎編”, “2. 検査・診断編”, “3. 診療編”に分けて構成し, 前二者においては長い解説を避けて, 短時間で把握できるように図表を中心にレイアウトした。図表の多くを『専門医のための眼科診療クオリファイ』から引用転載しており, 出典元の解説を合わせて読むことで, より理解を深めることが可能である。“3. 診療編”では, よくあるコモンな疾患について, その分野の第一人者が現場で手と頭をどのように動かして診療を組み立てているのかを誌面で再現している。診療ガイドラインに沿った診療で解決する症例もあれば, その範囲を超えて専門家ならではの知識と経験を駆使する場面もある。実際の臨床の場での多様性を反映した構成となつていよう。また, 各巻を編集される先生には, 練達の臨床家が蓄えた結晶化した知識を, “*Editor's note*”として要所要所に加えていただいた。読者の理解の幅が広がることを確信している。

忙しい先生がたの座右に置かれ, 必要な際にすぐ当たっていただけるレファレンスとして, また時間のある時にはじっくりとケーススタディをしていただく症例集として, 本シリーズが活用されれば, 編者の喜びとしてそれに優るものはない。

大鹿 哲郎
大橋 裕一

序



“屈折・光学は眼科学の基本”といわれても、それを喜んで素直に受け入れる人は多くないだろう。何といても屈折や光学は学問としての敷居が高い。眼科学のなかで数式や数字が最もたくさん出てくる領域であるし、使われる光学専門用語も独特である。「病因や病態の理解に屈折や光学の基本知識が重要ということはわかるけど、改めて勉強するのも何だし、つつい疎遠になってしまうんだよね」というのが大方の反応ではなからうか。

本シリーズ『眼科診療ビジュアルラーニング』は理論の教科書ではない。中山書店から刊行された『専門医のための眼科診療クオリファイ』を中心にした既刊書のなかから、よくまとめられた写真や図、表を引用し、それぞれの分野をコンパクトにまとめたダイジェスト版である。とくに“1. 基礎編”と“2. 検査・診断編”は写真と図を前面に出し、記述はそれを補う程度となっており、まさにビジュアルで学ぶ構成となっている。イメージを多用することにより、学習者にわかりやすく訴える誌面となっていると思う。気になったところを気軽に眺めながら理解を深めるというのが、本書の正しい使いかたであろう。

“3. 診療編”は、当該分野の専門家に、屈折、水晶体、眼内レンズに関連した症例を提示していただき、それぞれの問題をどのように解決していったのか、具体的な手順をまとめてもらった。まさにエキスパートによる謎解きである。多様な症例を本書で経験し、あわせて解説をじっくり読むことにより、臨床経験値は間違いなく向上するであろう。

本書のタイトルは『水晶体と屈折』である。眼を部位ごとにみれば、角膜が眼球の3分の2の屈折力を担っていることになるが、本巻では加齢による変化が直接、透光機能に障害もたらす水晶体と組み合わせて解説した。また、視機能のなかで、眼球のもつ網膜への透光・合焦機能を中心にとりあげ、視覚認知、色覚については本巻では扱っていない。

本シリーズの他巻とあわせて本巻を活用し、読者の臨床力がおおいにアップすることを编者として願っている。

2020年3月

筑波大学医学医療系眼科／教授

大鹿 哲郎

1 基礎編

視覚器と光学系	2
眼球の光学系と屈折要素	
光と視覚器	4
眼球光学系	7
眼の屈折要素	10
光学特性をもつ眼球部位	
角膜	13
水晶体	17
毛様体と Zinn 小帯	22
瞳孔	25
眼軸長	27
眼の結像機能とその異常	
屈折	29
調節	46
輻湊と開散	48
眼球光学系の加齢変化	
角膜	52
水晶体	54
毛様体と Zinn 小帯	59
瞳孔径	60

“1. 基礎編”, “2. 検査・診断編”の内容は、本巻編集の先生に校正いただきました。

ほかの書籍から引用転載した図表は、それぞれに出典元を記載しています。

凡例 ①: 専門医のための眼科診療クオリファイ 1. 屈折異常と眼鏡矯正. 東京: 中山書店; 2010.

小社既刊シリーズ『専門医のための眼科診療クオリファイ』の巻構成を, “1. 基礎編”の前に掲載しています。

2 検査・診断編

視力検査と屈折検査

検査の意義と方法	64
屈折検査の測定原理	65
視力の尺度と検査	73
屈折度の検出と矯正	79
不正乱視の検出	96
高機能眼内レンズのための視機能評価法	常吉由佳里, 根岸一乃 101

眼精疲労	109
------	-----

強度近視	111
------	-----

水晶体の白濁と偏位	117
-----------	-----

視力矯正のための装具と手術

眼鏡	123
コンタクトレンズ	124
オルソケラトロジー	130
眼内レンズ	138
屈折矯正手術	154

ロービジョンのための光学的サポート	158
-------------------	-----

3 診療編

若年者の調節けいれん	森本 壮 164
------------	----------

心因性の片眼性調節けいれんと考えられた症例

成人の調節けいれん	梶田雅義 169
-----------	----------

ドライアイと老視として治療を受けていた調節けいれんの症例

強度近視性内斜視	木村亜紀子 172
----------	-----------

強度近視による長眼軸が原因の内斜視

視力良好例での白内障手術	佐々木 洋 176
--------------	-----------

矯正視力が良好な皮質白内障の症例

先天白内障	黒坂次郎 181
-------	----------

生後 10 週目に水晶体吸引術・前部硝子体切除術を行った症例

先天性水晶体欠損	野村耕治 185
----------	----------

水晶体欠損 (lens coloboma) の 2 例

Zinn 小帯脆弱	谷口紗織, 谷口重雄 189
-----------	----------------

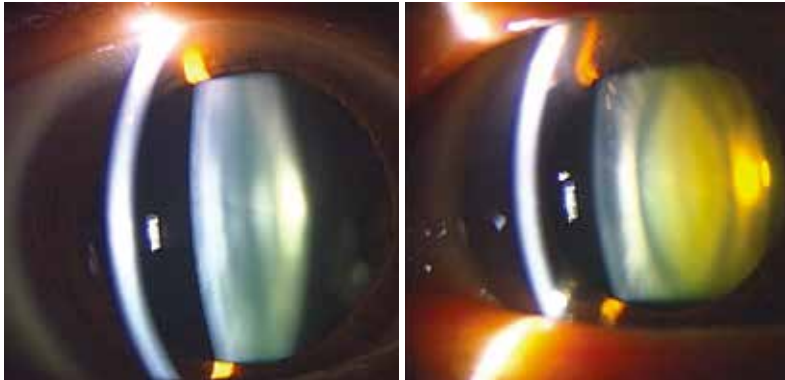
重度の Zinn 小帯脆弱に対して水晶体嚢を温存し, 眼内レンズの強膜への縫着 (in the bag suture) を行った症例

眼内レンズによるモノビジョン	神谷和孝	194
白内障手術時に片眼遠方矯正，僚眼近方矯正を行い，良好な全距離視力が得られた症例		
眼内レンズ度数ずれに対する piggyback 法	飯田嘉彦	198
白内障手術後の屈折誤差に対して secondary piggyback を施行した症例		
白内障手術後／トーリック眼内レンズ軸ずれ	井上 康	202
トーリック眼内レンズ挿入後に視力不良と単眼複視を訴えた症例		
白内障手術後／多焦点眼内レンズ不満例（眼内レンズを交換せずに対処した症例）	田淵仁志	205
術後の長期経過で不満が解消した症例と不満がまだ残る症例		
白内障手術後／多焦点眼内レンズ不満例（ほかの多焦点眼内レンズに交換した症例）	高橋真紀子，高島 隆	213
霧視状態の改善を眼内レンズ交換によって得た症例		
白内障手術後／多焦点眼内レンズ不満例（単焦点眼内レンズに交換した例）	森 洋斉	217
検査で原因を特定できない術後の視機能障害に単焦点眼内レンズへの交換で対応した 2 例		
白内障手術後／グリスニングと表面散乱	松島博之	221
片眼の眼内レンズ混濁（表面散乱）が生じた症例		
白内障手術後／dysphotopsia（異常光視症）	稲村幹夫	225
白内障術後に異常光視症(dysphotopsia)を生じて眼内レンズの入れ替えに至った症例		
白内障手術後／TASS	島 奈津子，小早川信一郎	230
TASS を発症，水疱性角膜症に転帰した症例		
白内障手術後／術後急性眼内炎	井上智之	234
白内障術後数日で発症した急性眼内炎症例		
白内障手術後／術後遅発性眼内炎	永原 幸	238
嚢内洗浄，点眼薬に硝子体切除，後嚢切開を加えて視力回復した症例		
白内障手術後／前嚢収縮	林 研	241
白内障手術後に前嚢収縮をきたして Nd：YAG レーザーによる切開を行った症例		
白内障手術後／後発白内障	留守良太	245
多焦点眼内レンズ挿入眼で視力低下をきたした症例		
白内障手術後／液状後発白内障	高橋京一	249
シングルショットレーザー後嚢切開による液状後発白内障の治療		
白内障手術後／眼内レンズ偏位	石井 清	254
白内障手術後，かなり時間が経過して生じた眼内レンズ偏位の 2 症例		
白内障手術後／眼内レンズ瞳孔捕捉	中荃敏明	259
眼内レンズ偏位に対し，眼内レンズ摘出術および強膜内固定術を行い，術後に繰り返す 瞳孔捕捉に苦慮した症例		
白内障手術後／水疱性角膜症	稗田 牧	263
緑内障治療中に白内障手術を受け，1 年後に水疱性角膜症がみられた症例		

オルソケラトロジー	吉野健一	266	
オルソケラトロジー処方手順とレンズ管理不良症例			
LASIK 術後長期経過後の視力低下への対応	中村友昭	272	
LASIK 術後 12 年目に視力低下で来院した一例			
ロービジョンケア	清水朋美	275	
病的近視ロービジョン患者の眼内レンズ選択			
<i>Editor's note</i>	大鹿哲郎		
① 屈折力, 屈折値, 屈折度, 屈折度数	11	② ザイデル収差と波面収差	39
③ 偽調節	46	④ 角膜前面と後面の関係	53
⑤ 白内障の副病型	57	⑥ 最高視力 4.0?	74
⑦ 先天白内障の手術時期	117	⑧ スマートフォン, タブレットの利用	161
索引			278

光学特性をもつ眼球部位 水晶体

組織構造



a. 30歳代

b. 70歳代

図1 ヒト水晶体

ヒト水晶体は、加齢とともに黄色化をきたし、400～550nmの可視光短波長領域の透光性が徐々に低下している。

(三戸岡克哉：色覚異常、[20](#) p.288, 図1.)

Subnote

水晶体は、透明かつ両凸の形状を呈しており、血管がないにもかかわらず終生代謝を営む器官である。水晶体は透明性を維持するため活発な代謝を行い、光を屈折させ、輻湊反応を行っている。水晶体自身でも物質を生成する能力があり、また房水との能動輸送、受動輸送により、物質交換を行っている。水晶体は、虹彩の後方、硝子体の前方に位置し、Zinn小帯により毛様体に吊るされている。

(久保江理：水晶体、[30](#) p.220.)

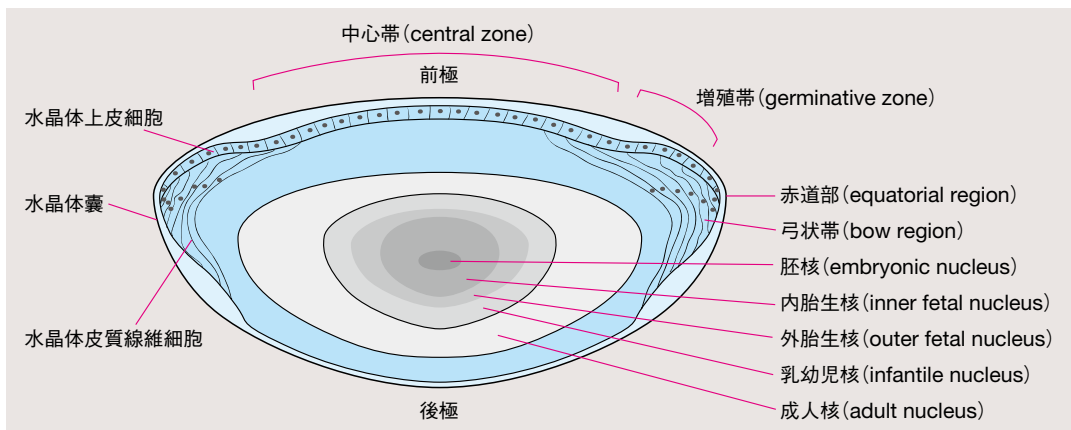


図2 成人水晶体の模式図

水晶体囊の内側には、前極部から赤道部にかけて1層の上皮細胞が存在する。水晶体上皮細胞は、前赤道部の増殖帯でのみ増殖し、新しい細胞は赤道部弓状帯へと移動し、水晶体線維へと最終分化を行い弓状帯を形成する。

(久保江理：水晶体、[30](#) p.221, 図1.)

組織構造

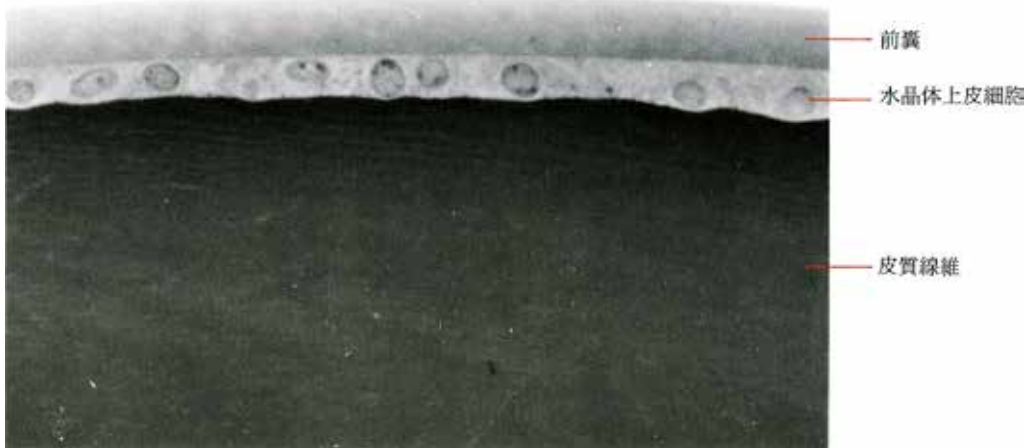


図3 ヒト水晶体上皮細胞の光学顕微鏡写真 (46歳, 女性, $\times 700$)

中央部上皮細胞は平面的には多角形で, 側面からみると扁平な細胞で, 高さ $5\sim 8\mu\text{m}$, 幅 $11\sim 17\mu\text{m}$ の大きさをもつ。

(宇賀茂三: 発生, 構造〈解剖〉. 亀井 鏐ら編. 眼科学大系 2B 水晶体. 東京: 中山書店; 1993. p.7-8. 図 5.)

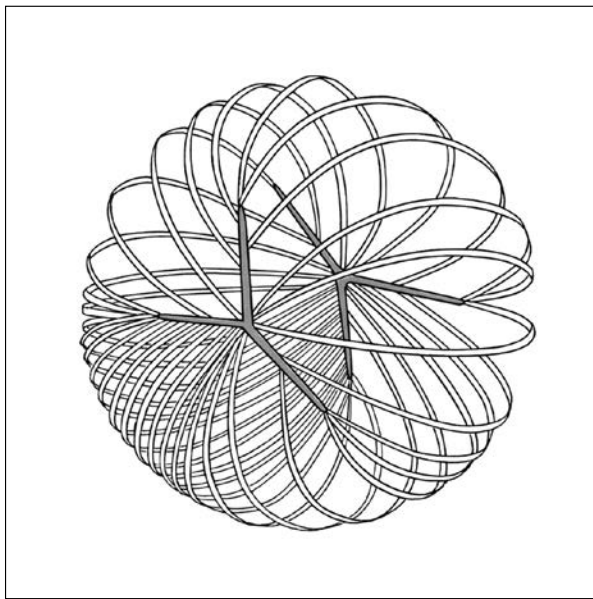


図4 前極と後極のY字縫合を示す模式図

三日月状に弯曲した線維細胞は初め頂部を上皮細胞に, 底部を後囊に接触させながら中央に向かうが, やがて前後極で相反する方向から伸びてきた線維細胞と接触し, 縫合 (suture) を形成する。縫合は前方から見ると前極部がY字形に, 後極部が逆Y字形になっている。さらに成熟した線維細胞は上皮細胞や後囊との接触を離れて水晶体の中心部 (核部) へと移動する。

(Hogan MJ, et al: Lens. In: Histology of the Human Eye. An Atlas and Textbook. Philadelphia: WB Saunders; 1971. p.673.)

(宇賀茂三: 発生, 構造〈解剖〉. 亀井 鏐ら編. 眼科学大系 2B 水晶体. 東京: 中山書店; 1993. p.10. 図 9.)

Subnote

水晶体のY字縫合

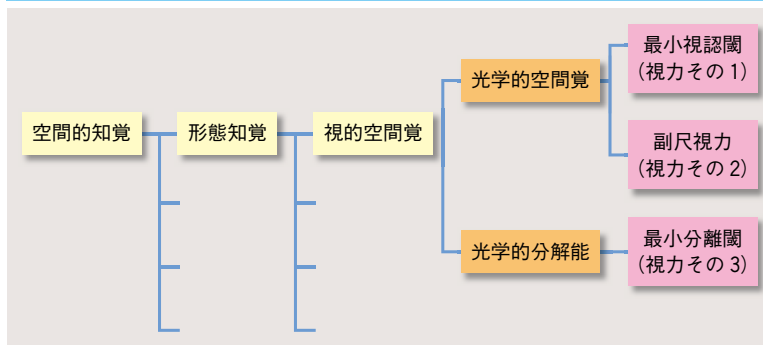
水晶体線維の縫合は細胞突起の先端部 (前縫合) と基底部 (後縫合) の各結合部の配列により形成されている。Y字縫合は, 水晶体核部に位置しており, 細隙灯頭顕微鏡にて多数の光学帯が観察できる。前方はY字形で後方は逆Y字形のように観察できる。皮質と核部は徐々に移行しており, 明らかな境界はない。

(久保江理: 水晶体. 30 p.222.)

視力検査と屈折検査 視力の尺度と検査

眼の屈折度を把握したうえで、視力検査を行う。一般的には、国際視力表による自覚的視力検査を行う。集中力の長く続かない小児や 0.01 以下の視力の測定には、ほかの計測法を用いる。

形態覚と視力



① 3種類の視力の位置づけ
(内海 隆：成人の視力検査. ① p.48. 図 1.)

② 形態覚の尺度

1. 最小視認閾 (minimum visible)	1点または1線を認める閾値.
2. 最小分離閾 (minimum separable)	2点または2線を識別して感じる閾値.
3. 最小可読閾 (minimum legible)	文字を判読できる閾値.
4. 副尺視力 (vernier acuity)	2直線または3点の位置の違いを感じる閾値.

物の形態覚を知るには上記の四つの尺度がある。視力は基本的には Landolt 環で最小分離閾を測定して表すが、実際には Landolt 環との比較実験で作成された文字や数字を用いて最小可読閾を測定して判定している。

(大鹿哲郎：視力の種類. ① p.81.)

③ 視力の表記法と視標の種類

視力の表記法	視標の種類
小数視力	Landolt 環
分数視力	Snellen 表
対数視力	小数視力値を常用対数値に変換した値
logMAR	ETDRS 視力表
対比視力 (コントラスト視力)	

④ 視力の種類

裸眼視力と矯正視力
片眼視力と両眼視力
遠見視力と近見視力
小数視力と分数視力
字ひとつ視力と字つまり視力
中心視力と中心外視力
静止視力と動体視力
対数視力
コントラスト視力

(大鹿哲郎：視力の種類. ① p.81-84.)

(川瀬芳克ら：視力とその矯正. ② p.22-24.)

形態覚と視力

5 各種視力と視角の換算

小数視力	logMAR	視角 (分)	分数視力
0.1	1.0	10	20/200
0.2	0.7	5	20/100
0.5	0.3	2	20/40
1.0	0	1	20/20
1.25	-0.1	0.75	20/16
2.0	-0.3	0.5	20/10

(前田直之: logMAR 視力・ETDRS 視力表の使い方. ① p.71. 表1.)

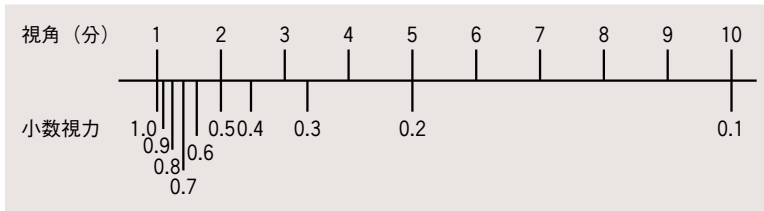
Editor's note

6

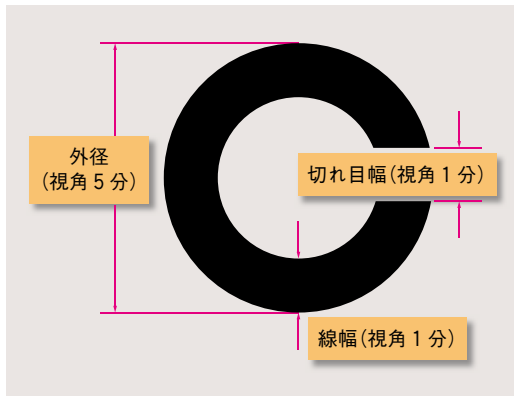
最高視力 4.0?

視力表は最高で2.0までの表記で、それ以上の検査をすることはない。しかし、アフリカ、特にマサイ族の視力はもっとよく、3.0や4.0の人も珍しくないという話がある。視力4.0なら、1km先の直径7cmほどの物体を見分けられるということである。

網膜視細胞の解剖学的サイズや配列、瞳孔での回折現象などを考えると、視力の理論的境界は2.0から2.5と計算される。ただし、瞳孔径6mmで収差がまったくない眼ならば、6.0も理論的に可能ではあるが、実際的ではない。眼球は常に動いて(dithering) 網膜像を複数の視細胞上に投影しようとしているので、アフリカ人でスーパー遠方視力を有する人達は、こういった現象を利用しているのかもしれない。(大鹿哲郎)



6 視角 (分) と小数視力 (大鹿哲郎: 集まった視力の測定値の平均や偏差をとるにはどうしたらよいでしょう? ① p.85. 図1.)



7 視力 1.0 の Landolt 環 (川瀬芳克ら: 視力とその矯正. ② p.23. 図1.)



8 対数視力値表示の例. 小数視力値 0.5 の 5m 用単一視力表に赤字で記載された対数視力値 (はんだや). 小数視力 0.5 を 10 倍し、対数値に変換している。(川瀬芳克ら: 視力とその矯正. ② p.23. 図2.)



9 ETDRS 視力表 (Precision Vision). 右眼視力測定用のチャート1を示す。(川瀬芳克ら: 視力とその矯正. ② p.23. 図3.)

Subnote

視力 (visual acuity)

視力とは、2点を識別する眼の能力のことである。かろうじて判別できる2点が眼に対してなす角度を最小可視角 (minimum visual angle) といい、角度の単位“分”で表す。最小可視角の逆数が視力である。

(大鹿哲郎: 視力の種類. ① p.81.)

白内障手術後／多焦点眼内レンズ不満例（ほかの多焦点眼内レンズに交換した症例）

霧視状態の改善を眼内レンズ交換によって得た症例

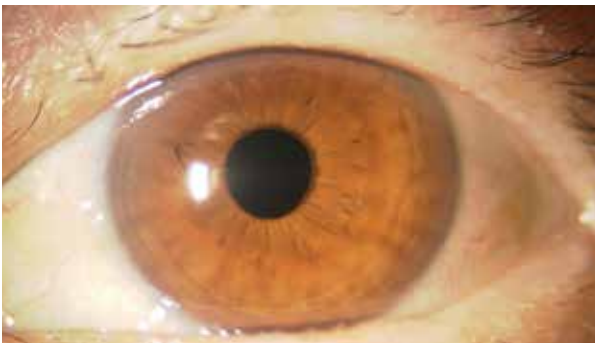
症例 65歳，女性．9か月前に他院にて両眼の水晶体再建術を施行され，TECNIS[®] Multifocal（Johnson & Johnson Vision）を挿入された．術直後からかすみ症状の自覚があったが，主治医からは半年程度で慣れるため様子を見るようにいわれていた．半年以上経過しても症状が改善されないことを不安に思い，セカンドオピニオン目的で高畠西眼科を受診した．

主訴 両眼霧視

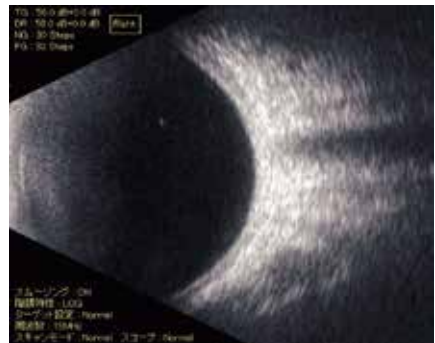
既往歴 特記すべきことなし．

初診時所見 遠方視力：RV = 1.5（n.c.），LV = 1.5（n.c.），近方視力（40cm）：NRV = 1.0（n.c.），NLV = 1.2（n.c.）．前眼部（①），眼底に異常所見はなく，硝子体混濁や角膜不正乱視もみられなかった（②③）．コントラスト感度は正常範囲内下限であった（④）．

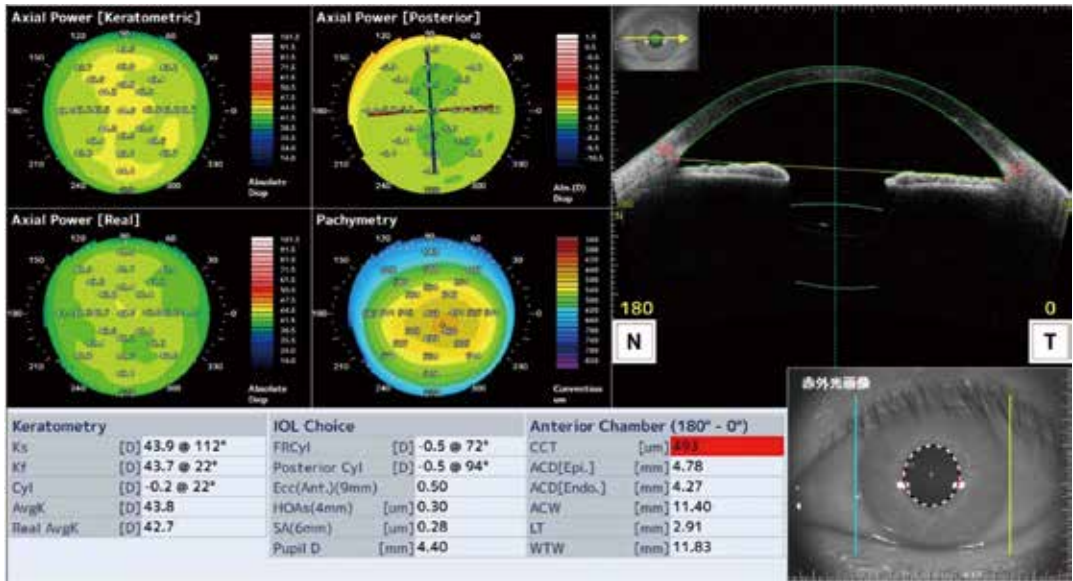
治療，経過 術後視機能に影響しうるドライアイ，後囊混濁，硝子体混濁などを認めなかったため，TECNIS[®] Multifocal 不適応症例と判断した．コントラスト感度低下および自覚症状の強い右眼からTECNIS[®] Multifocal を摘出し，TECNIS Symphony[®]（Johnson & Johnson Vision）への交換手術を施行した．眼内レンズ交換後はコントラスト感度の上昇と自覚症状の改善を認め，反対眼の手術も希望されたため同様に手術を施行した．術後遠方視力：RV = 1.5（n.c.），LV = 1.5（n.c.），中間視力（70cm）：IRV = 1.2（n.c.），ILV = 1.5（n.c.）．



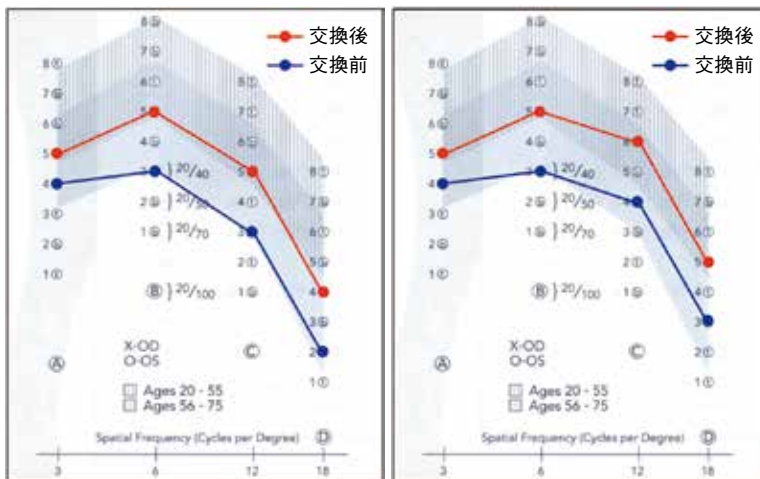
① 前眼部写真．前眼部に異常所見はなく，眼内レンズ偏位も認めなかった．



② 超音波Bモード画像．硝子体混濁はみられなかった．



③ 前眼部 OCT 画像。角膜不正乱視を認めなかった。



a. 右眼

b. 左眼

④ コントラスト感度. 眼内レンズ交換によりコントラスト感度の上昇を認めた。

術前後で視力の変化はなかったが、コントラスト感度の上昇 (④) に伴い霧視症状は消失し、遠近ともよく見えるようになったと満足された。

解説 多焦点眼内レンズ挿入後に不満を訴える症例は一定の頻度で存在する。国内の前向き多施設研究によると不満例の割合は3.9%であり、コントラスト感度低下に起因する霧視症状が最も大きな要因であったと報告されている¹⁾。また、海外の報告によると不満例のうち4~7%で眼内レンズ摘出を要したとされている^{2,3)}。多焦点



中山書店の出版物に関する情報は、小社サポートページをご覧ください。
<https://www.nakayamashoten.jp/support.html>

がん か しんりょう

眼科診療ビジュアルラーニング

4. 水晶体と屈折

2020年5月20日 初版第1刷発行 © [検印省略]

シリーズ総編集 おおしかてつろう
大鹿哲郎
おおはしゆういち
大橋裕一
編集 おおしかてつろう
大鹿哲郎

発行者 平田 直

発行所 株式会社中山書店 〒112-0006 東京都文京区小日向4-2-6

TEL 03-3813-1100 (代表) 振替 00130-5-196565

<https://www.nakayamashoten.jp/>

本文デザイン・装丁 花本浩一／永山浩司(株式会社麒麟三隻館)

印刷・製本 中央印刷株式会社

ISBN978-4-521-74513-8

Published by Nakayama Shoten Co., Ltd. Printed in Japan

落丁・乱丁の場合はお取り替えいたします

・本書の複製権・上映権・譲渡権・公衆送信権(送信可能化権を含む)は株式会社中山書店が保有します。

・**JCOPY** <(社)出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、(社)出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書をスキャン・デジタルデータ化するなどの複製を無許諾で行う行為は、著作権法上での限られた例外(「私的使用のための複製」など)を除き著作権法違反となります。なお、大学・病院・企業などにおいて、内部的に業務上使用する目的で上記の行為を行うことは、私的使用には該当せず違法です。また私的使用のためであっても、代行業者等の第三者に依頼して使用する本人以外の者が上記の行為を行うことは違法です。