

■「屈折」と「吸収」を利用した観察法：目的と利点

(1) 組織が光を吸収するか透過するかを判別して組織性状を判定する

◆例：虹彩嚢腫 vs 充実性虹彩腫瘍の判別

正面から直接照明を当てると、どちらも茶色の隆起組織として観察され、区別されない。腫瘤のつけ根付近の後～側方に強いスリット照明光を当ててみると、嚢腫では後方からの反射光線が一部透過して半透明組織であることがわかり、充実性腫瘍では光線はすべて吸収されて不透明な充実組織であることがわかる。

◆例：ぶどう膜炎に伴う萎縮虹彩組織→半透明となり、眼底反射光線法で、薄くなった部位から部分的に光が透過して見える。

(2) 透明な球状組織の性状の判別(例、水泡様組織、気泡、オイル滴、など)

* 不透明な組織の特徴 → 吸収 により暗く抜ける

・ ピントをずらすと辺縁付近は少し明るくなるが真中はあくまで暗い

・ 不透明部分の見え方は照明の当て方(方向、背景の色)で変化しない

* 透明(半透明)な組織の特徴

→ 辺縁付近は暗く、真中は明るく見える(図10)

・ 辺縁部の光束は透過してもレンズ効果により屈折して方向が変わってしまうため欠落する。真中からの光は透過、直進して明るく見える

・ 照明の当て方(方向、色：背景の色)を変えるとその見え方が変わる：方向を変えると最も明るい部分の位置が変わったり、背景の色が変わると、組織の色も変わる

・ さらに真横から光を当ててみると、以下のことがま

でがわかる

* 高屈折率の粒(例：オイル滴)

→ 照明の当たっている反対側の辺縁が明るく見える

* 低屈折率の粒(例：気泡)

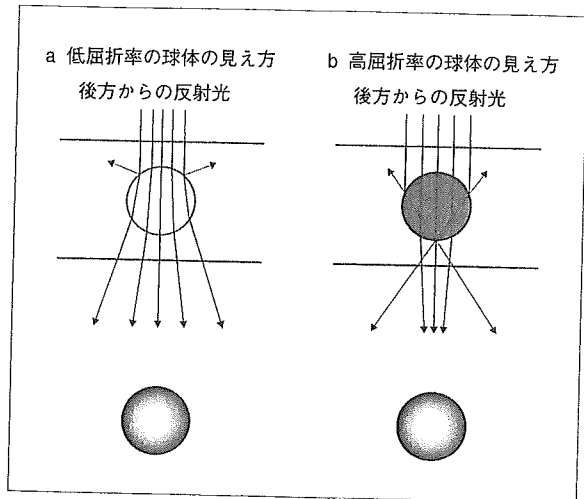
→ 照明の当たっている同側の辺縁が明るく見える

◆例：結膜下に観察される半透明の粒

横からスリット照明を当ててみて、どちらの辺縁が明るく照らされるかを見ることにより、それが気泡なのかシリコンオイルなどの粒なのかがわかる。

Ⅲ. 照明光の波長選択に関する基礎知識

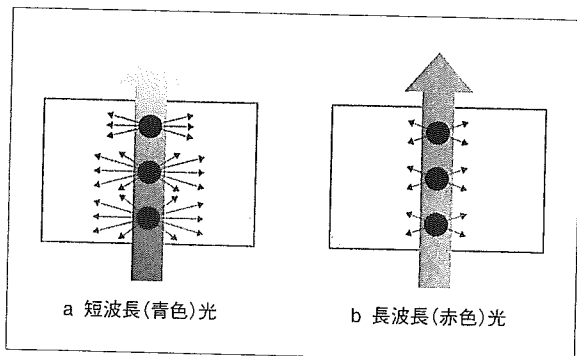
細隙灯顕微鏡の観察には、上記の各照明法、観察



【図10】 間接照明を用いた透明な球状組織の観察

a 低屈折率の球体の見え方 b 高屈折率の球体の見え方

a も b も球の中心付近は光がそのまま透過するため明るく見え、球の周辺部は屈折して光がそれるために暗く見える。透明な組織の特徴は、光の当てられる方向や色の変化で中心部の最も明るい部分の見え方が変化することである。



【図11】 照明光束の波長の違いによる散乱反射の生じやすさの違い

a 短波長(青色)光は、b 長波長(赤色)光に比して、組織内の粒子による散乱を強く生じる。b 長波長(赤色)光は散乱を生じにくいいため、組織透過性が高い。

法の特徴が生かされるように、それぞれの方法に適した照明光の選択が必要である。そのために参考となる基礎的事項を以下にまとめてみた。

◆散乱の程度は光の波長に依存する(図11)

短波長光(青色光)は長波長光(赤色光)に比して散乱を生じやすい(波長の4乗に比例する)。簡単な例をあげれば、夕日は、大気圏を接線方向により長い距離を通過した後に地上で観察されるため、散乱しやすい青(短波

長)成分が散乱によりとばされて赤く見える。

◆照明光の照度を上げると波長のピークが短波長側へシフトする(図12)

照明電球の電圧を上げると、照明電球の明るさが増すと同時に、色調がより青白く変化する。つまり、照度は主に短波長成分の増加により生じるため、波長のピークが短波長側へとシフトする。したがって、照明電球の電圧を上げると、単に明るくなるだけでなく、短波長成分が増加することによって散乱光が発生しやすくなる(→前房のセル・フレア、硝子体は一般に観察しやすくなる)。

◆観察対象性質に合わせた照明光の選択

(a) 半透明組織を通して奥の組織を観察する場合

◆例：網膜面の観察：特に角膜混濁、白内障、硝子体混濁を伴う場合

中間透光体を通過する際に生じる散乱光が観察の邪魔になるので、散乱しやすい短波長成分(青色光系)をあまり含まない照明光の方が観察しやすい。したがって、イエロー系フィルターを通した短波長成分が少ない照明光による観察が有用となる。

(b) スリットナイフによる光学断面の観察

◆例：角膜断面、硝子体の観察

(1) 透明性の高い半透明組織

透明性の高い組織の断面は、照明光束が通過する際に散乱が生じることにより観察が可能となる。短波長成分を含まない照明光(黄色系～赤色光)は散乱せずそのまま透過しやすいため、短波長成分をカットするイエロー系フィルターを通した照明光では一般に、観察される組織断面の切れが悪くなる。特に硝子体などの観察には適していない。最近では blue light hazard が問題とされているが、細隙灯顕微鏡においてはいたずらに短波長光成分をすべてカットすべきではなく、安全な範囲内で短波長成分を含んだ照明光が観察には必要である。

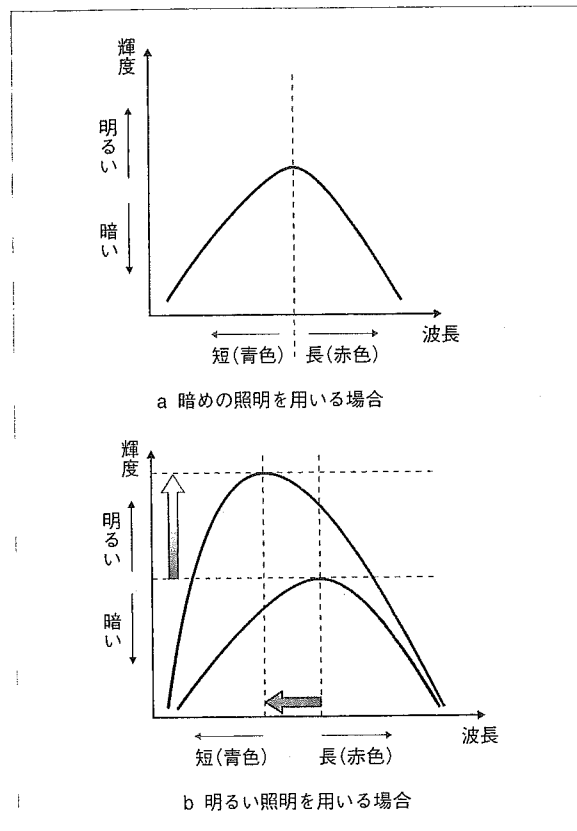
(2) 強い混濁を伴う半透明組織

逆に、混濁の強い半透明組織の観察に際しては、短波長光は散乱して透過しにくく、観察困難となる。そのような場合は、短波長成分が少ない照明光による観察がかって有用となる。

(c) 半透明組織の表面形状の詳細な観察

◆例：レッドフリー光による網膜神経線維束の観察

① 透過しやすい長波長(赤色光)成分がカットされて



[図12] 照明電球の電圧の上昇に伴う照明光の輝度と波長の変化
a 暗めの照明を用いる場合、b 明るい照明を用いる場合
照明電球の電圧を上げると照明の明るさが増すと同時にピーク波長がシフトして色調が青白く変化する。つまり短波長成分を多く含む、より散乱しやすい光束となる。

いるため、光線透過性がきわめて低く、網膜のごく表層での反射が強く得られる。したがって、網膜神経線維束が高コントラストで観察できる。

※レッドフリー光では、その他に、微細な赤色系病変(微細な出血点、微小血管瘤など)のコントラストが強調されて観察できる。

PRACTICAL 2003

OPTHALMOLOGY

97

細隙灯顕微鏡の
すべて

細隙灯顕微鏡観察の基本テクニック

2. 細隙灯顕微鏡による眼底観察法

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

東京 文光堂 本郷

2. 細隙灯顕微鏡による眼底観察法

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

細隙灯顕微鏡のすべて

●はじめに

眼底観察を細隙灯顕微鏡で行う利点は、詳細な観察、眼底周辺部の観察、細隙光による硝子体・網膜の評価にある。また、細隙灯顕微鏡による眼底観察法の正しい理解は、レーザー治療を行ううえでも重要である。

(I. 眼底観察の原理

1. 眼底観察における照明光束と観察光束の配置

眼底観察の原理は、3つの光束、つまり、① 眼底を照明するための入射光束、② 照明された眼底から射出されて右眼の接眼レンズに至る射出光束、③ 同様に左眼の接眼レンズに至る射出光束を、それぞれ重なり合わないよう瞳孔を通過させることにつぎ(図1)。

つまり、眼底への照明光①が入射して反射した光が、眼から射出(②または③)されれば眼底が観察される。②と③の両者が同時に射出されれば、両者の視差により、立体的観察が可能となる。

照明光束が広ければ、広い範囲の眼底が観察されるが、①と(②または③)の両者が瞳孔を通さなければ眼底は観察できない。瞳孔の形状と大きさの限界に対して、最も観察しやすいように照明光束の形状と3つの光束の角度設定を適切に配置する。①と(②または③)の角度を広くとりすぎると眼底からの照明光は瞳孔から射出できなくなり(図1-Ba)、逆に狭くしすぎると、両光束に重なる部分が生じてしまい、その部分はまぶしい反射光が邪魔をして観察できなくなる(図1-Bb)。

双眼倒像鏡による眼底観察の場合は、①、②、③が三角形の配置をとり、①と(②+③)の角度、②と

③の角度をそれぞれ調整し、三角形の3頂点を適切に配置して瞳孔を通過させることにより眼底を立体的に観察することが可能となる(図2)。

2. 細隙灯顕微鏡による眼底観察

細隙灯顕微鏡では、①の入射照明はスリット光束が用いられ、照明されて射出された(②+③)眼底像を、左右2本の顕微鏡観察系で拡大して観察する。

細隙灯顕微鏡による眼底観察法(図3)

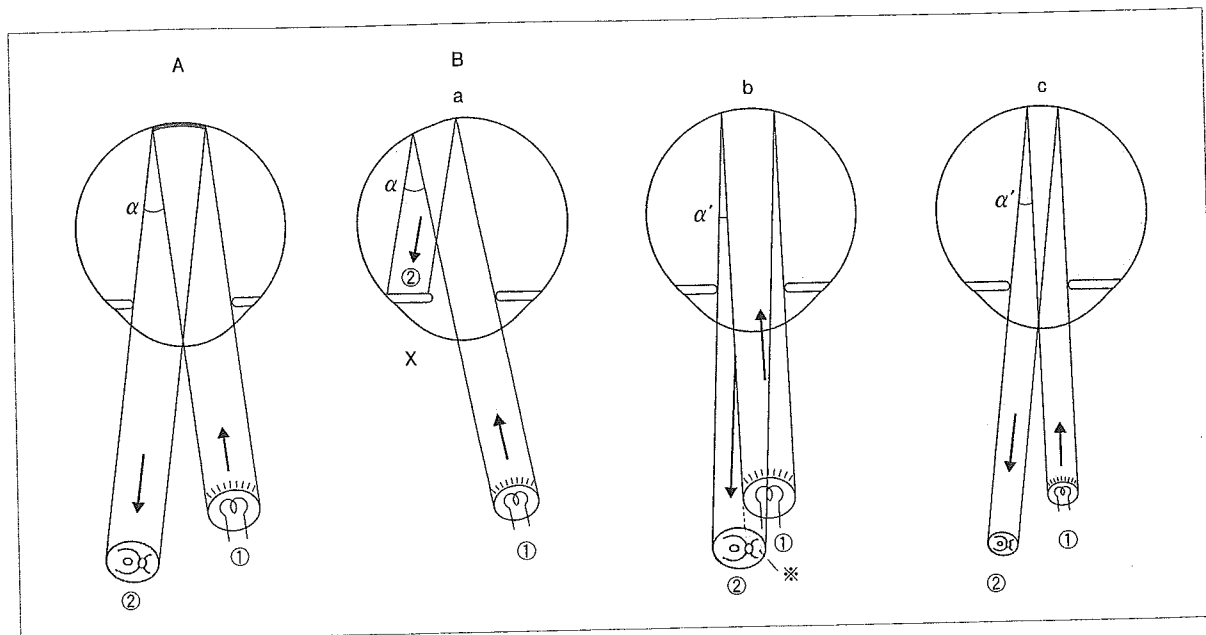
1) 眼底後極部～上方下方周辺部の観察

眼底後極部から上方および下方周辺部は、通常通り縦のスリット光で観察できる。その際、上下の周辺部を観察していくにつれ、実質的な瞳孔の通過平面は横長の楕円に絞られる。そのため観察視野が上下に狭くなるが、横長の瞳孔形状から3つの光束の出入りはある程度までそのまま保たれるため、比較的周辺部までそのまま観察が行える。さらに周辺部の観察では、瞳孔面の水平径も絞られる。ステレオバリエーター(128～129頁、図6、7参照)などの装置を用いれば②と③の角度(視路角)を狭めて立体視を保ちやすい。

2) 耳側、鼻側周辺部眼底の観察

(a) 耳側および鼻側周辺部眼底の観察では、周辺部の観察を行うほど、瞳孔面の形状は縦長に絞られていく。これに伴い、① スリット照明光束を細く絞り、左右の観察光束(②+③)と①との角度を狭めていくが、すぐに①、②、③が同時には瞳孔を通過できなくなる。

(b) そこで、スリット光束を縦方向から横方向に変更するが、横長に広がるスリット光束はそのままでは、観察光束平面に重なってしまうため、照明系の入射させる角度を観察平面から上下に変更して



〔図1〕眼底観察の原理

A 散瞳良好な症例の眼底観察

大きな照明光束(①)が瞳孔から入射し、照明された範囲の眼底像の観察光束(②)が射出されるため、広い面積の眼底観察が行える。

B 散瞳不良症例の眼底観察

a 大きな照明光束を入射させても、瞳孔から観察光束は射出されない。

b 照明光束と観察光束との角度を狭めると、①と②がともに瞳孔を通過できるが、両者が重なった部分(*)で強い反射光が生じて観察が妨げられる。

c ①と②の角度を狭めると同時に照明光束を小さくすることにより、観察される面積は小さくなるが、安定した眼底観察が行える。

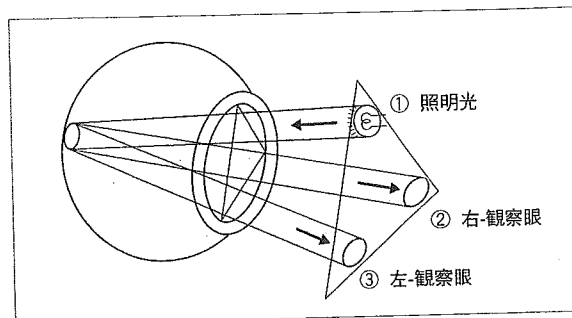
(Goldmann型ではランプハウスを前傾させる(84頁, 図3, 126~127頁, 図1~4参照), Zeiss型ではつまみを回転する操作(104頁, 図4参照)などにより照明光プリズムの位置を下方にずらす) ①と(②+③)の角度を上下にとるようにする。さらに立体視を保つためには、ステレオバリエーターを備えた装置では②と③の角度を狭めて観察する。

3. 眼底観察像に関する基礎光学

眼球のレンズ系を前眼部の総屈折力をごく大まかに約+60 Dの凸レンズ(角膜40 D+水晶体20 D)として考え、眼底を観察するためには、それを打ち消す-60 Dの凹レンズを前置して正立像を観察する方法と、高屈折凸レンズを前置して眼底の倒立像を眼前に形成して観察する方法を想定する(図4)。

1) 凹レンズの前置による観察法: Goldmann三面鏡など

約-60 Dの凹レンズを前置すると、眼底像の正立虚像が水晶体後嚢付近に観察される。その像を細隙



〔図2〕双眼倒像鏡による眼底観察の原理

① 照明光束と左右の観察光束(②, ③)の三角形が瞳孔面を通過させることにより、眼底が立体観察される。照明光束の大きさ, ①と(②, ③)の角度, ②と③の角度をそれぞれ調節して最良の眼底観察条件を得る。

灯顕微鏡で観察する(角膜よりも奥に像がある)。

- ・観察条件の良い眼であれば、最も解像度の良い眼底観察が可能(倍率もほぼ1倍)だが、
- ・観察視野が狭い。
- ・小瞳孔、白内障などの前眼部の障害や中間透光体の混濁が、そのまま観察を障害する。
- ・眼内レンズ挿入眼では、周辺部眼底観察が困難。

2) 高屈折凸レンズによる倒立像観察法

倒像眼底観察法は、高屈折凸レンズを前置することによって、眼底像を眼前に形成し(倒立実像)それを細隙灯顕微鏡で観察するというしくみである。したがって、顕微鏡の焦点を合わせる位置は、角膜よりも手前になる。

観察視野が広く、小瞳孔や中間透光体の混濁などの障害に強い。また、適切に使用することによって、周辺部の眼底観察、さらに眼内レンズ挿入眼の眼底観察には特筆すべき利点が発揮される。使用する前置するレンズによって眼前に形成される倒立眼底像が異なるため、どのような像が観察されるかを理解しておく必要がある。

◆倒像眼底検査の原理

倒像眼底検査の基本原理は、凸レンズを前置して眼底像をまず患者眼の眼前に空中像として作ることにある。その空中像(倒立、実像)を肉眼(14~40 Dレンズを用いて倒像鏡で観察する場合)もしくは細隙灯顕微鏡で拡大して(60 D以上のレンズを前置)観察するわけである。

(1) 観察倍率

a) 眼底観察像の大きさ(横倍率)

倒像鏡の倍率(実際の眼底像と前置レンズによる空中像の大きさの比)は、眼の全屈折力(：約60 D)と前置レンズの屈折力の比でほぼ決定される。

$$\text{像の倍率(横倍率)} = \frac{\text{眼の全屈折力}}{\text{前置レンズの屈折力}}$$

20 Dレンズでの倒像鏡検査では、眼底像は60/20で約3倍に、30 Dレンズでは、60/30で約2倍に拡大して観察される(図5)。60 Dレンズでは、60/60でほぼ等倍となり、それ以上のパワーのレンズでは像は縮小され、90 Dレンズでは、60/90で約2/3倍であるが、同時に焦点距離が短くなって像が細隙灯顕微鏡で観察可能な範囲の眼前位置となるため、その像を細隙灯顕微鏡で拡大して観察する(図6)。

細隙灯顕微鏡眼底検査で観察される像の倍率は、前置レンズにより作られる空中像の倍率×細隙灯顕微鏡の観察倍率ではあるが、細隙灯顕微鏡による倍率の拡大は、前置レンズの機能を代償できない。低倍率の前置レンズを使って細隙灯顕微鏡で拡大すれば同じという考えは成り立たない。

b) 眼底観察像の奥行き(縦倍率)

眼底の隆起度や陥凹度など、観察方向の倍率(縦倍率)は、横倍率の自乗に比例する。

$$\text{縦倍率} = (\text{横倍率})^2$$

したがって臨床的には、約60 D以下の前置レンズ(横倍率>1.0)による観察では眼底の高低差が強く強調され、逆に、約60 D以上のパワーのレンズ(横倍率<1.0)では、眼底の陥凹、隆起は実際よりも捉えづらくなることを覚えておかねばならない。例えば、20 Dレンズ(横倍率→約×3)による倒像鏡眼底検査では、縦倍率は約9倍となり、1 mmの突出は約9 mmの突出として観察される。逆に、90 Dレンズ、Super Field(横倍率→×0.72)では、縦倍率は(0.72)²=0.52倍で、眼底の高低差は実際の約1/2倍として観察され、さらに、Quadrasphericレンズ、Super pupilレンズでは、約1/4倍もしくはそれ以下の平面的な像となる。

(2) 観察視野

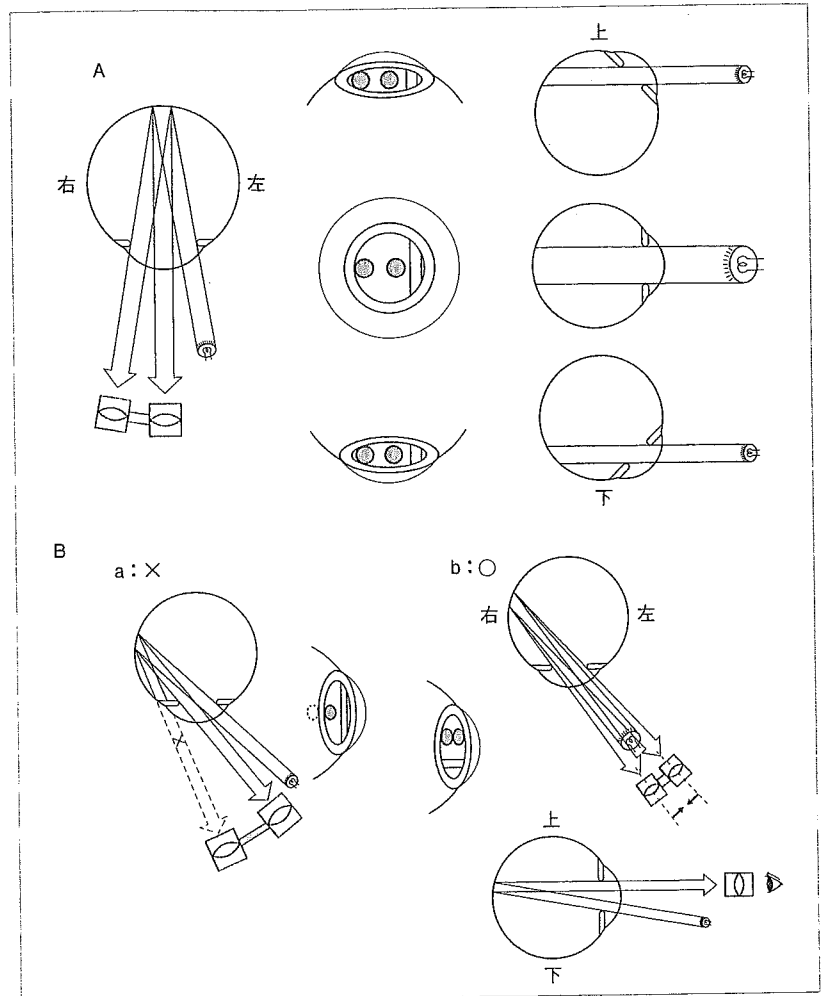
眼底の観察視野は、前置レンズの焦点距離(前置レンズと患者眼との距離)とレンズ口径に依存する。前置レンズの屈折力が高いほど、口径が大きいくほど観察視野は広がる。

接触型広視野眼底観察レンズで表示されている視野角は、レンズを固定して観察した場合のもので、レンズを角膜上で移動させることにより、実際に観察できる視野はずっと広い。レンズのデザインによって異なるが、視野90°のMainsterレンズで±15°のレンズの傾斜を加えると観察可能な視野は約120°、視野120°のPanfundoscopeでは約140°の範囲が観察できる。また、これらのレンズでは、観察視野は観察眼の屈折状態の影響を受けやすく、遠視眼では狭く、近視眼では広がる。例えば、上記のMainsterレンズでは、正視眼に比べて+3 Dの遠視眼では18%観察視野が狭くなる。

4. 細隙灯顕微鏡眼底観察のための前置レンズ

最近では、さまざまな観察条件に合わせて、適した前置レンズが使用できる。前置レンズの特性は、60 Dクラスのレンズを標準と考え、60 Dクラスのレンズ、60 D以下のレンズ、90 Dクラスのレンズ、120 D(+α)クラスのレンズ、におおまかに分類して、それぞれのクラスのレンズを観察眼の条件と観察対

[図3] A 眼底後極部~上方・下方周辺部の観察
B 耳側・鼻側周辺部の観察



象に合わせて選択するようにする(表1).

1) 60 D のレンズ

眼底像がそのままの条件で観察される(縦・横倍率ともに1倍).

2) +60 D 以上のより高屈折力の前置レンズを用いるほど,

- ・観察視野が広がる.
- ・焦点深度が深くなる.
- ・倒立眼底像の形成位置が角膜から近くなる.
- ・前眼部・中間透光体の障害(混濁, 小瞳孔)のある症例で観察しやすくなる.
- ・倍率が低下し, 詳細な観察が困難になる.

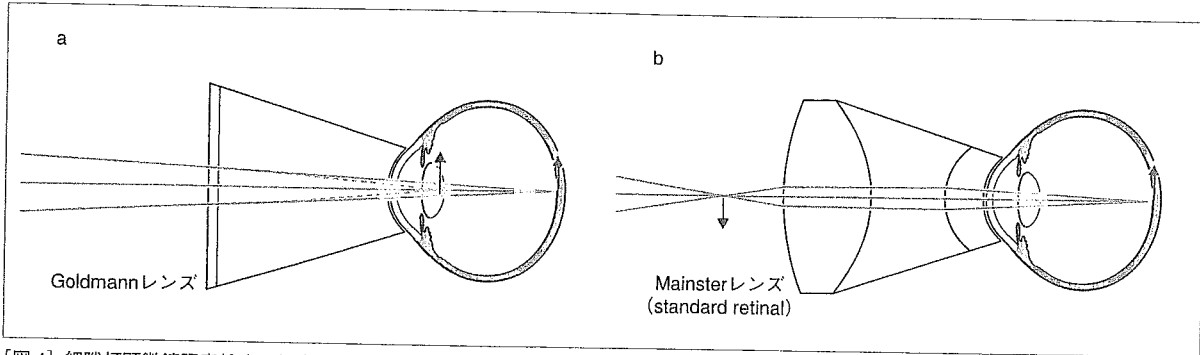
一般的に, 観察はより容易になり, 使い勝手が良い感じられる反面, 倍率, 特に縦倍率は著明に低下し, 凹凸の検知は困難になる. また, 低い観察倍率

の眼底像を細隙灯顕微鏡で拡大しても良好な観察条件は得られない.

3) 逆に+60 D 以下のレンズでは眼底像を拡大して観察できる. つまり前記と逆の条件となり,

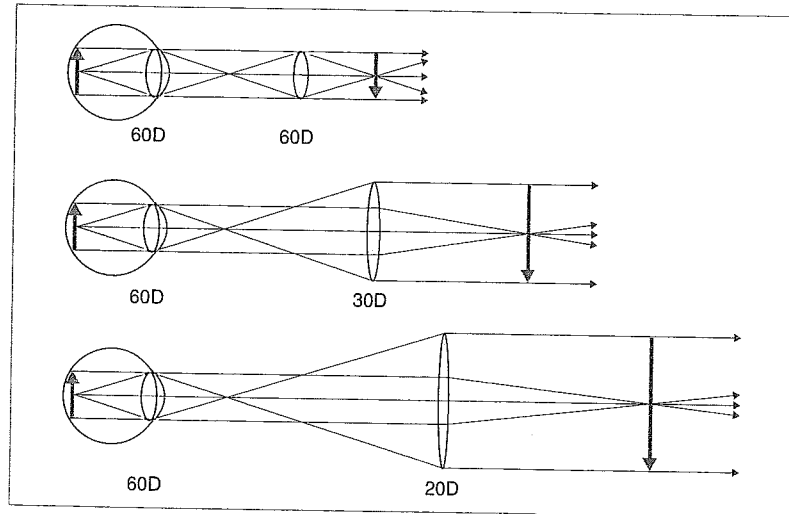
- ・倍率が拡大され, 詳細な観察が可能となる. 特に眼底の凹凸は著明に強調される.
- ・観察視野が狭くなる.
- ・焦点深度が浅くなる.
- ・倒立眼底像の形成位置が角膜から遠くなる.
- ・前眼部・中間透光体の障害(混濁, 小瞳孔)のある症例では観察が困難になる.

実際は, 単純にレンズの屈折力を+60 D 以下にすると, 倒立眼底像の形成位置が角膜から離れ過ぎ, 細隙灯顕微鏡の作動距離では観察できなくなるため, 作動距離を短くするために特別な光学設計を要



[図4] 細隙灯顕微鏡眼底検査の観察系
(矢印赤：前置レンズで形成される眼底像)

[図5] 倒像眼底観察系のしくみ(倒像鏡使用の場合)
前置するレンズが+60Dより低い屈折力であるほど、眼前に形成される倒立の眼底像は拡大され、眼前から遠い位置に形成される。



する (VOLK SuperMacula 2.2 など)。

◆観察対象と観察条件に合わせた前置レンズの選択
(表2)

観察の容易さと観察される眼底像の質との折り合いから、最も一般的な目的での使用に適したレンズは+90Dクラスと思われる。

しかし、黄斑部の観察など、特に網膜の厚みを正確に評価する必要がある場合には、正立像系、倒像系に限らず、縦・横倍率ともに1倍の±60Dクラスのレンズを用いる必要がある。同じ観察倍率の前置レンズでは、良好な観察条件で限られた対象のみを観察する場合は、Goldmannタイプの凹レンズによる正立像観察系が優れているが、観察条件に障害がある場合(小瞳孔、中間透光体の混濁など)は、前眼部で観察光束が集光する倒像系、特により高屈折の前置レンズの方がかえって見やすく

なる。非接触型の60Dクラスのレンズは、従来使い勝手が悪かったが、最近VOLKは新しい光学設計の前置レンズを開発し(「Digital」タイプ)、黄斑部の非接触観察が行いやすくなった。

さらに、より容易に広い視野を深い焦点深度で観察を行いたい場合、観察条件が厳しい眼の場合(小瞳孔、中間透光体の混濁、周辺部眼底観察など)は、120D+αクラスの超高屈折レンズを選択するが、平面的な観察となることを十分留意する。

5. 眼底周辺部の観察法(各部観察の要点とコツ、眼底周辺部の項参照)

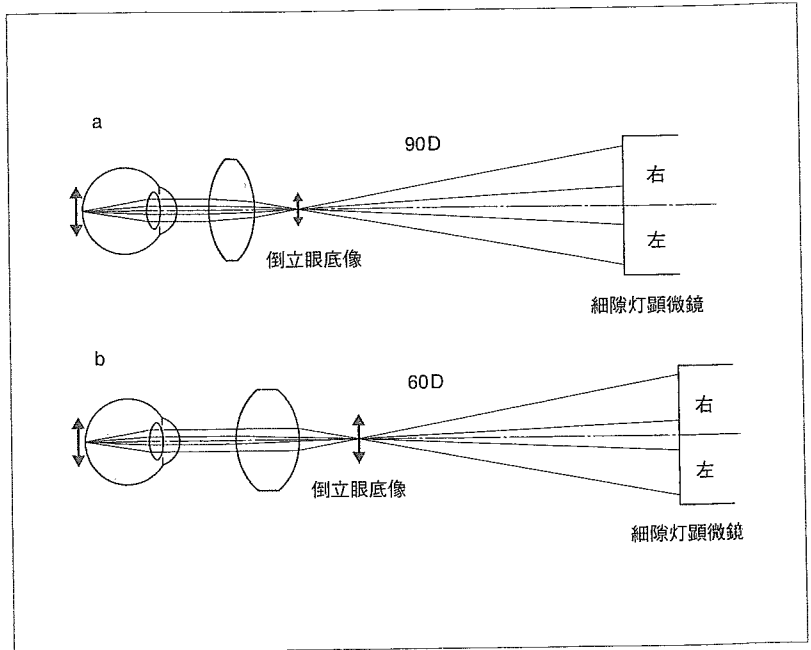
1) 眼底周辺部の観察には以下の条件を伴う

① 観察光束、照明光束を眼底周辺部へ斜めに向ける

[図6] 倒像眼底観察系のしくみ(細隙灯顕微鏡使用の場合)

前置するレンズが+60Dより強い屈折力であるほど、眼前に形成される倒立の眼底像の大きさは小さくなり、角膜から近い位置に形成される。60D以上の前置レンズでは、細隙灯顕微鏡でその倒立眼底像が観察可能となる。

a +90Dレンズを前置した場合
b +60Dレンズを前置した場合



後極部の観察は眼球光学系に対して平行な方向に観察軸を合わせるのに対して、眼底周辺部を観察するためには、観察軸を大きく斜めに向ける必要がある。

② 瞳孔平面と(入射)照明光束、(射出)観察光束との関係(図3)

小瞳孔の症例ではもとより、たとえ散瞳が良好な症例であっても、より周辺部の観察を行う場合ほど、通過できる瞳孔面は細く絞られるため、観察する眼底の方向に合わせて適切な入射照明光束、と左右2つの射出観察光路を適切に配置して(重ならないように)通過させる必要がある。

③ 観察眼の水晶体、眼内レンズにより生じる収差の問題(89頁、図4参照)

無水晶体眼では影響はないが、観察眼のレンズ(水晶体、眼内レンズ)を斜めに光束が通過する際に大きな収差が生じて眼底観察に障害が生じる。有水晶体眼では最周辺部で、眼内レンズ挿入眼では赤道部付近から観察に障害が生じる。

2) 眼底周辺部観察法

細隙灯顕微鏡で眼底周辺部を観察するためには、以下のいずれかの方法をとる。

① 正立像観察系：鏡面内蔵型凹レンズ(Gold-

mann 三面鏡、図7)

基本原理は、-60Dレンズの内部に角度の異なる鏡を内蔵し、観察光束を鏡で反射させて眼底周辺部に向け、設定された鏡の角度により観察される位置の周辺部眼底の観察を行う方法である。さらに周辺部の網膜鋸状縁部から毛様体までの観察を行うためには、強膜圧入法を併用する(84~85頁、図3~7参照)。

周辺部の観察は鏡面像で行うこと、後極部、赤道部、最周辺部を非連続的に観察する必要があることから熟練を要するが、眼科医として修得しておかなければならない基本技術である。

本観察系自体の基本的な特徴は上述の通りであるが、周辺部眼底観察においては、特に観察眼の水晶体や眼内レンズの影響を受け、特に眼内レンズ挿入眼では収差が強く生じて観察が困難となる(89頁、図4参照)。

② 広角倒立像観察系による観察(88頁、図1参照)

高屈折倒像型レンズの広角観察を利用して眼底最周辺部までの観察が可能となったことから、Goldmann 三面鏡に代わって、最近では本法が第一選択として使用される機会が増加している。高屈折倒像観

[表1] 前置レンズの観察条件と眼底像の特徴








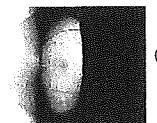





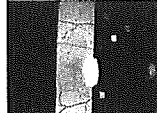



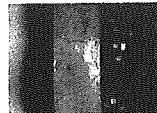
レンズの屈折力		市販レンズ		観察目的とレンズの適性		
		非接触型レンズ	接触型レンズ(視野)	客観的 評価	網膜浮腫の 検出	観察条件の悪い症例 症例の観察(小瞳孔 ・中間透光体混濁)
低屈折力のレンズ 拡大された眼底像 の観察	+60D 以下クラス		VOLK SuperMacula2.2 ^① (70°) 横倍率：2.2 倍 縦倍率：5 倍	★	★★★★★	
			Mainster High Magnification ^② (75°) 横倍率：1.25 倍 縦倍率：1.6 倍	★★	★★★★	
	-60D 以下クラス		VOLK Fundus 20mm ^③ 横倍率：1.6 倍 縦倍率：2.5 倍	★★	★★★★★	
60D クラス 等倍での眼底観察	-60D クラス 横倍率：1 倍 縦倍率：1 倍		Goldmann 三面鏡 VOLK CENTRALIS DIRECT ^④	★★★ (標準)	★★★ (標準)	★
	+60D クラス 横倍率：1 倍 縦倍率：1 倍	DIGITAL 1.0× ULTRAMAG(Ocular)	VOLK AREA CENTRALIS ^⑤ (90°) Mainster Standard Retinal(90°)	★★★ (標準)	★★★ (標準)	★★
高屈折力のレンズ 広い視野での網膜 硝子体の観察	780 (60D < > 90D)	VOLK 780 HIGH MAG(Ocular)		★★	★★	★★★
	+90D クラス 横倍率：1/1.5 倍 縦倍率：1/2 倍	VOLK SUPERFIELD ^⑥ STANDARD(Ocular)	VOLK TRANSEQUATOR ^⑦ (110°) Mainster WideField(125°)	★	★	★★★★
	(90D < > 120D)	VOLK SUPER VITREO ^⑧ FUNDUS				★★★★
	+120D+α クラス 横倍率：1/1.5 倍 縦倍率：1/4~5 倍	VOLK SUPER PUPIL XL ^⑨ ULTRAVIEW SP(Ocular)	VOLK EQUATOR PLUS ^⑩ (120°) VOLK QUADRASPHERIC(130°) VOLK SUPERQUAD160(160°) Mainster PRP165(165°)			★★★★★

◆各種前置レンズで観察される眼底像を大まかに把握する。

レンズの特性をつかむには、まず、60D=1 倍を基本単位として考え、90D はその 1/1.5 倍(二乗は 1/1.5²=2 倍)、120~130D は 1/2 倍弱(二乗は 1/2²~2.2²=1/4~5 倍)としてレンズを倍率によっておおまかに 3 クラスに分類する。接触型、非接触型ともどのクラスのレンズかを考えて選択する。同等の屈折力であれば、口径が大きい方が視野は広いが、同時にレンズが厚くなるための光学的不利を伴う。

◆非接触型レンズはより手軽に観察が行えるが、観察像は接触型が勝る。

[表2] 前置レンズの選択

レンズ外観	眼底観察像					
	観察倍率の比較	観察される網膜の厚さ				
		1X	2X	3X	4X	5X
① 	① 					
② 	② 					
③ 	③ 					
④ 	④ 					
⑤  ⑥ 	⑥ 					
⑦  ⑧ 	⑧ 					
⑨ 						
⑩  ⑪ 	⑪ 					

察系は、前眼部で強い集光光束となるため、周辺部眼底観察に関しては適切に用いれば、以下のような正立像系よりも有利な特徴を備えている。

- (1) 周辺部眼底観察に伴う瞳孔の変化の影響が少ない

- (2) 前眼部の障害(白内障、後発白内障)の影響が少ない

- (3) 水晶体、眼内レンズの収差の影響が少ない

◆眼内レンズ挿入眼の眼底管理

眼内レンズ挿入眼の眼底検査やレーザー治療はもは

や日常診療の一部となっているが、Goldmann 型の前置レンズでは、眼内レンズの光学部径の制限、後発白内障、眼内レンズの光学的収差により、十分な眼底周辺部の観察には困難を伴う。Goldmann レンズ周辺部ミラーの前に 6D の円柱レンズを貼りつけたレンズ (Ocular 社, 図 8) も開発されたが普及には至らなかった。それに対して倒像型の高屈折前置レンズではそれらの影響を受けにくく、レンズ光学性能と動的観察法の進歩により、眼内レンズ挿入眼の十分な眼底管理が可能となった。

■細隙灯顕微鏡による照明法

1) 直接照明法 direct illumination

① 幅広のスリット光による網膜面の観察

幅広いスリット光を直接網膜に当て、照明された網膜面を観察する。

<照明光の選択>

観察の目的は網膜面の観察であるため、照明光束、観察光束は中間透光体で散乱しやすい短波長成分(青)が少ないスペクトラムの照明光が適している(短波長カット型:イエロー系フィルターを用いる)。

② ごく細いスリット光による観察

スリットナイフによる断面の観察を行う。硝子体断面、網膜面、網膜硝子体境界面の観察に用いる。

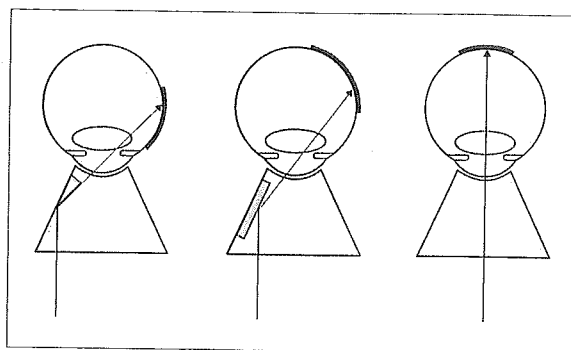
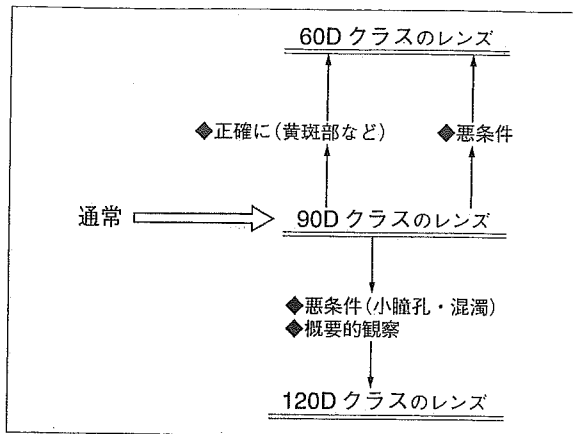
<照明光の選択>

観察の目的は、スリットナイフの通過する光学断面に生じる散乱光の観察である。したがって、散乱しやすい短波長成分の少ない照明光では、散乱光は生じにくい。最近、短波長光による障害(ブルーライトハザード)の問題が明らかになり、安全性が重視されて、短波長成分がカットされた照明光が一般に用いられる傾向にあるが、あまり短波長成分を含まない照明光は光学断面の観察にはやや不利な条件となる可能性がある。

◆観察面とスリット照明光焦点の位置のずれ

眼球表面では照明系つまりスリット照明光の焦点(焦点)の位置と、観察系の焦点の位置は一致するように調整されているが、眼底の観察においては、両者が異なる光学条件を通過するために、両者の焦点の位置がずれてしまう。例えば、視神経乳頭の陥凹をスリットナイフ断面で強拡大で観察してみると、観察したい部分に焦点を

[表 2] 前置レンズの選択



[図 7] Goldmann 三面鏡による眼底観察

Goldmann 三面鏡の観察系は、-60D の凹レンズに鏡面を内蔵したものである。異なる 3 つの角度の鏡で異なる範囲の眼底を観察する。

合わせると、スリットナイフは線(焦点)とはならずややぼけて幅広になる。正確な断面の観察を要する場合は、眼底面にまず観察系の焦点を合わせた状態で、スリット光が最も細くなる位置に照明系の反射鏡の位置を調整し直して観察する必要がある。

2) 背景照明法 retroillumination

硝子体の微細な混濁、特に後部硝子体面(Weiss ring)は、直接照明法のほか、背景照明法が有用な場合がある。

背景照明による観察は、簡易的には、図 9 のように観察対象に焦点を合わせてから鏡頭を平行に横方向にややずらして視野の傍中心部で観察する。視野の中心でしっかり観察したい場合は、観察系と照明系の同軸を解除して、観察系は対象物に焦点を合わせた位置に保ち、照明光束の方向のみを変えて、眼底から反射した後方からの背景光が最も見やすい位

置にくるように調整する(5頁図4も参照)。

付 細隙灯顕微鏡による眼底観察法：前置レンズ
開発の歴史

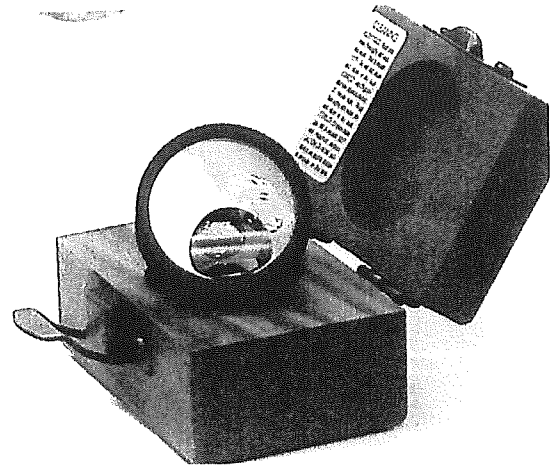
1) 接触型レンズ：開発の歴史と現状

初めて細隙灯顕微鏡で眼底の観察を可能としたのは1918年のKoeppであるが、その後Goldmannが改良を加え、Goldmann三面鏡を用いた観察法(図4a, 基本的には $-67D$ の凹レンズで、約 $+60D$ の人眼の屈折を中和して眼底の観察を可能にする：像は正立、虚像)は現在に至るまで最も標準的な眼底の観察法の一つとなっている。Goldmann三面鏡は、鮮明な眼底最周辺部までの観察が可能で一方、観察視野が狭く、鏡を用いた構造のため広い視野を連続的に観察することはできないという欠点(図7)をもつため、1969年にSchlegelは、凸レンズを2枚組み合わせ合わせた型($+85D$)の初めての倒像型の広視野観察用レンズPanfundoscopeを開発した。Panfundoscopeでは広い視野を連続的に観察できるため、汎網膜光凝固などをより安全に行うこともでき、有用とされたが、観察倍率が低い、像の鮮明度が低い、暗い、周辺部は像の歪みが強く見えない、などの欠点を有していたため、使い勝手の悪さは否めなかった。Mainsterはこれらの欠点を改良して1986年にMainsterレンズ(図4b)を発表した。観察倍率が高く、またレンズの非球面デザインの改良により像の歪みを抑えて比較的周辺部までの観察が可能になり、実用性が大きく改善された。さらに、Volk社は独自に非球面デザインを進化させ、 130° にわたる広い視野の観察を可能にしつつ使い勝手を向上させたQuadrAsphericレンズを開発した。これらのレンズが現在の広視野眼底観察レンズの基本型となっている。

現在は、眼底観察、レーザー治療などを行ううえで、さらにその観察部位や目的用途に応じて多様なレンズの開発が進められている。広視野型では $140\sim 160^\circ$ の観察視野、周辺部観察用では鋸状縁に至るまでの観察、黄斑部の詳細な検査には $\times 2$ 以上の拡大率での観察が可能でレンズがある。

2) 非接触型レンズの開発の歴史と現状

最初の非接触型前置レンズは、1940年代に開発さ

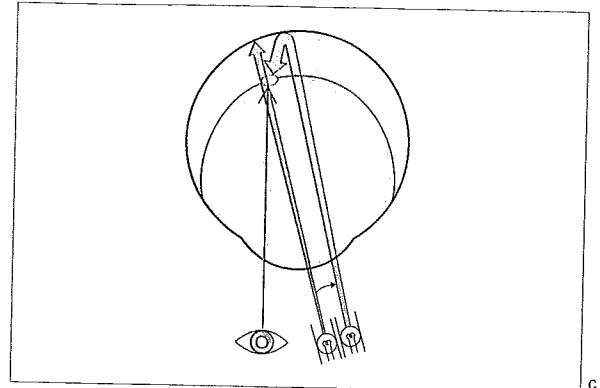
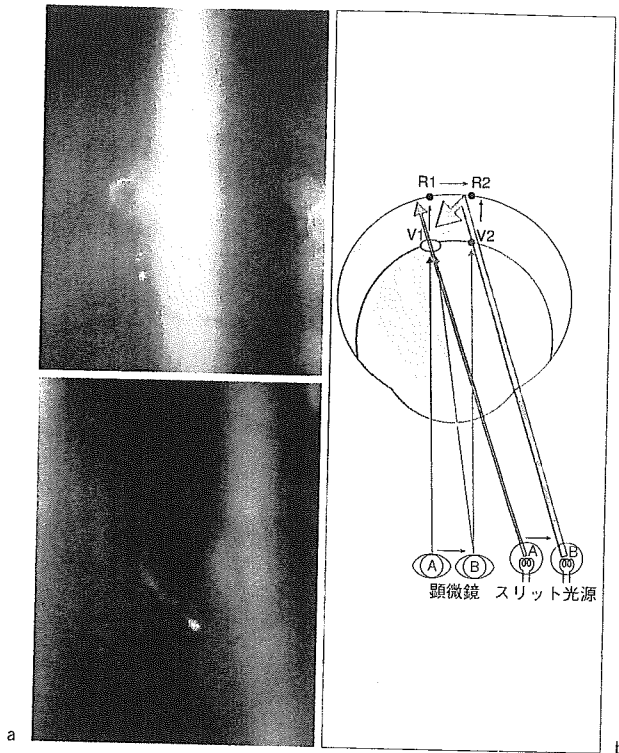


〔図8〕 Goldmann三面鏡前面に円柱レンズをつけた眼内レンズ
挿入眼観察用レンズ

れたHrubyレンズ($-55D$ の凹平レンズで、眼底像を前眼部に正立の虚像として拡大して観察する)であるが、観察視野が狭く、安定した両眼での観察は困難であった。

高屈折凸レンズを前置することにより倒像型の眼底観察が可能であることを初めて示したのは、1953年El Bayadiであったが、El Bayadiレンズ($+55D$)自体は球面レンズで強い収差により眼底像の歪みが著しく、全く普及しなかった。しかし、1974年に梶浦がニコン社とともにEl Bayadiレンズを非球面化し、収差を軽減して眼底観察レンズとして実用化した。El Bayadi-梶浦レンズ($+58.69D$ ：作動距離がかなり長く、顕微鏡にホルダーで固定する)は、網膜のみならず硝子体観察の有用性が高く評価されると同時に、非接触型前置レンズによる細隙灯顕微鏡眼底検査法の重要性を高めた。その後レンズ技術の進化に伴い、高屈折非球面レンズの開発が進み、 $+90D$ レンズを代表とする、作動距離が短く観察が容易で、検者が手で保持しても容易に眼底の観察が可能でレンズがVolk社、ニコン社、Ocular社などから供給され、日常診療におけるごく標準的な検査法として普及するまでに至った。

最近では、レンズの高屈折率化に応じた非球面デザインの進化により、さらに鮮明で広い視野での観察が可能となり、さらに、 $+130$ を越えるパワーを



【図9】背景照明法による Weiss ring の観察

a 観察所見

上：楕円形の Weiss ring が観察されている。

下：接線方向に近い状態での観察となっている。

b 観察法(簡易法)

後部硝子体面の Weiss ring を細いスリット光による直接照明法で確認する(A で V1 を観察する)。その後、スリットの幅をやや開いて光量を増しそのままジョイスティックを奥に倒して直接照明観察位置を網膜に合わせ(R1)、さらに観察位置をスリット光源と同方向にわずかに平行移動してずらした後(この写真では右側からスリット光を入れているので右側にずらす：R2 を観察する)、ジョイスティックを手前に引いて、後部硝子体面に再度焦点が合うまで戻すと(V2)、眼底から反射する間接照明光で(この写真では観察視野の中心からやや左に寄った位置で) Weiss ring のコントラストが最も強調されてみえる位置がある(つまり B で V1 を観察する)。

c 観察法(正式)

観察系の焦点は観察対象に合わせたまま、観察系と照明系の同軸を解除して、観察対象がよく背景照明により照らし出されるような位置関係へと照明系の方を変更する。

前置することにより小瞳孔での観察を可能にするレンズ、1つのレンズで78~90 Dまでの可変ズーム機能を有するレンズなども開発されている。

◆眼底観察用高屈折レンズの備えるべき条件

a) 非球面レンズ設計

屈折力の大きい球面レンズは径を大きくすると収差が増大し、結像状態が不良となるため、眼底観察用レンズでは、周辺部まで良好な像を得るためには詳細な非球面レンズデザインを要する。

b) 高屈折率レンズ素材

高屈折率レンズで径を大きくすると、レンズの厚みが増して、重量のみならず収差が増すが、高屈折率素材(HI/LD：Lanthanum ガラスなど)を使用すれば、レンズの曲率を低く抑えることができ、収差が減少される。Super Pupil XL(Volk)では、屈折率1.9の高屈折率レンズが用いられている。

c) 多層膜コーティング技術

レンズの高屈折率化は表面反射を著しく増大させるため、90~130 Dにも及ぶレンズで鮮明な眼底の観察を行うには、反射防止のための多層コーティング技術が必

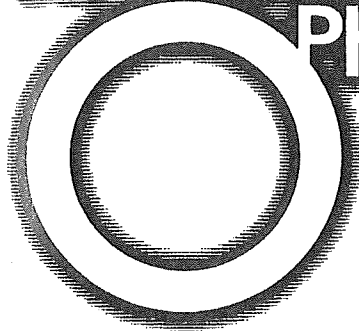
須である。レンズ使用の際は、そのコーティング面を損なわないようにレンズ面には極力触れず、汚れた場合は表面を傷めないように必ず専用のクロスで清拭する。

文献

- 1) Mainster, MA et al: Retinal laser lenses: magnification, spot size, and field of view. Br J Ophthalmol 74: 177-179, 1990
- 2) 野田 徹: 最新の眼底観察用レンズの種類と使用法. 眼科学アップデート 2, 樋田哲夫ほか編, 診断と治療社, 東京, 98-107, 1996
- 3) 野田 徹: 眼底細隙灯顕微鏡検査と前置レンズの選択. 臨眼 52(11): 173-176, 1998
- 4) 野田 徹: 細隙灯顕微鏡検査-黄斑浮腫の診療. 眼科診療プラクティス 3(6): 40-45, 2000
- 5) 野田 徹: 細隙灯顕微鏡のデジタル撮影. 眼科診療プラクティス 1(1): 78-83, 1998
- 6) 野田 徹: 手術顕微鏡. 眼科診療プラクティス 4(6): 32-40, 2001

PRACTICAL 2003

OPHTHALMOLOGY



97

細隙灯顕微鏡の
すべて

各部観察の要点とコツ/8. 眼底周辺部

2) 高屈折倒像型レンズによる眼底周辺部の観察

◇——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

東京 文光堂 本郷

2) 高屈折倒像型レンズによる眼底周辺部の観察

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

細隙灯顕微鏡のすべて

●はじめに

眼底周辺部の観察は、細隙灯顕微鏡による眼底検査の重要な目的の一つである。また、レーザー治療を行ううえでも眼底観察法の正しい理解が重要である。

周辺部眼底を観察するためには、観察光束を前眼部の光学系に対してかなり斜めの方向にとらなければならない。その条件においては、広角型倒像前置レンズによる眼底観察系は、Goldmann 三面鏡に比して多くの有利な特徴がある。

(I. 広角型倒像前置レンズによる周辺部眼底観察系の特徴

1. 前眼部を観察光束が集光して通過する観察系であること(図1)

1) 周辺部眼底を観察する際の瞳孔に有利

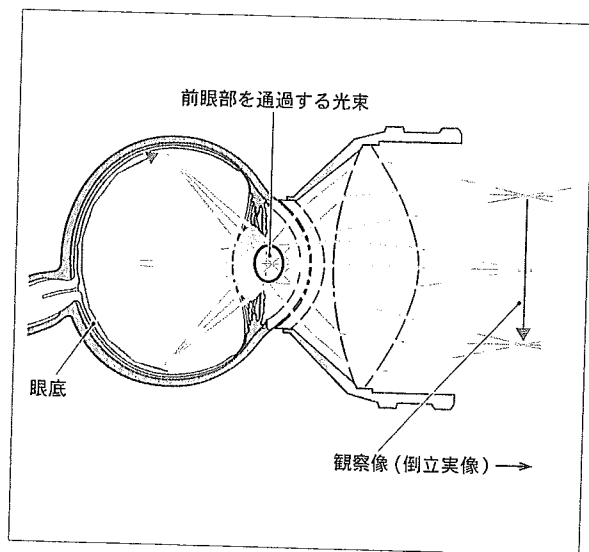
小瞳孔の症例でも広い視野での眼底観察が可能である(図2)。また散瞳がよい場合でも眼底の周辺部を観察する場合は、瞳孔は細長い楕円形状となるが(図3)、倒像系の観察光束は効率よく通過できる。

2) 前眼部の混濁に強いこと：白内障、後発白内障

白内障、後発白内障など、前眼部の障害による眼底観察への影響が少ない(図3)。

3) 観察眼の水晶体、眼内レンズによる収差の影響が少ないこと

周辺部を観察するための光束は、水晶体を斜めに通過する。Goldmann 三面鏡では、無水晶体眼では問題なく、有水晶体眼ではかなり周辺部まで観察可能であるが、眼内レンズ挿入眼では、斜め収差(非点収差、コマ収差など)が強く発生する(図4)ため眼底周辺部の観察は困難である。



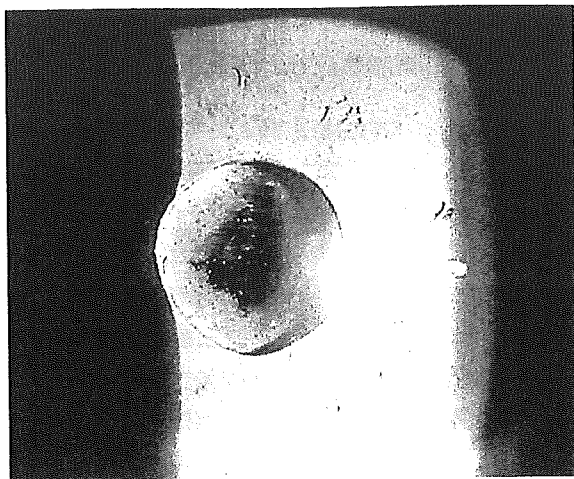
〔図1〕 広角倒像型前置レンズを用いた眼底観察系の光路図
倒立の眼底像(実像)が前置レンズの手前に形成され、その倒立像を細隙灯顕微鏡で観察する。広い視野の眼底の観察光束は、前眼部を極めて狭い範囲に収束して通過する。この光学系の特徴が周辺部眼底の観察においては特筆すべき特徴(白内障などの混濁に強い：図2、瞳孔の条件に強い：図3、眼内レンズなどにより生じる収差に強い：図4)となる。

2. 観察視野が広いこと

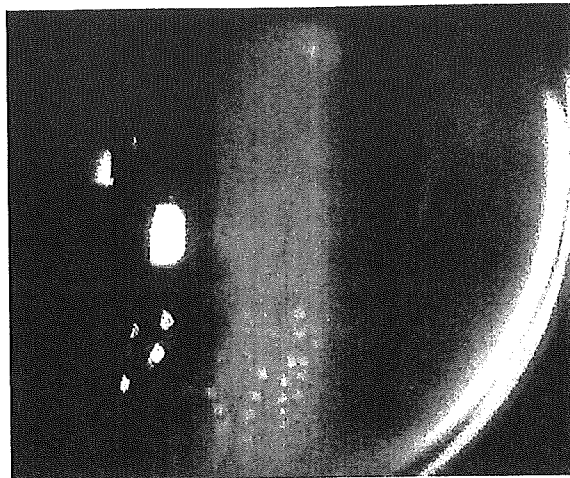
観察視野が広く、後極部から連続した視野で観察できることは、診断のみならず、レーザー治療の安全性の点からも有用である。

3. 焦点深度が深くとれること

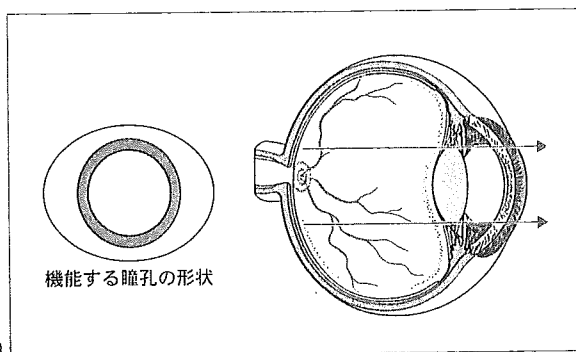
高屈折のレンズを前置すれば、焦点深度が深くとれる。網膜病変への硝子体の付着部位や牽引の状態を動的に観察する際に、深い焦点深度での観察はきわめて有用である。



[図2] 小瞳孔，後発白内障を伴う症例における眼底視察(文献5より)
a 前眼部所見

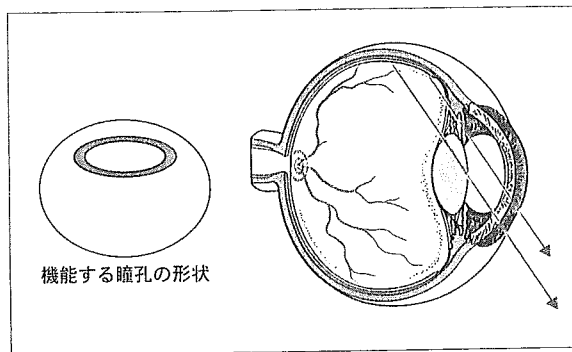


b 眼底視察像
適切なレンズ操作により，周辺部までの眼底視察が可能となる。



機能する瞳孔の形状

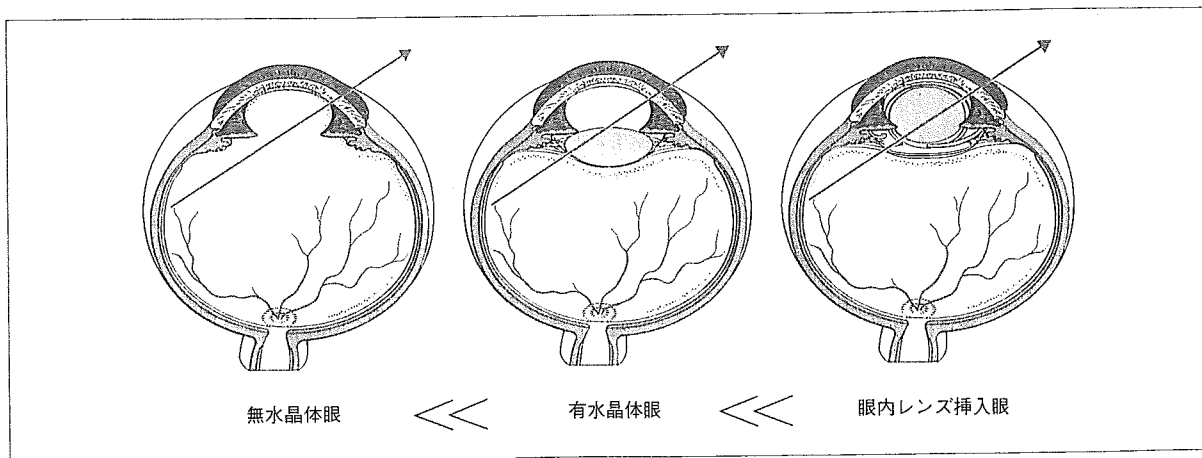
a



機能する瞳孔の形状

b

[図3] 眼底周辺部視察における瞳孔の形状変化
a 眼底後極部の視察，b 眼底周辺部の視察



[図4] 周辺部眼底視察時に前眼部に発生する「斜め収差」：無水晶体眼<<有水晶体眼<<眼内レンズ挿入眼
周辺部を視察するための光束は，前眼部を斜めに通過する。無水晶体眼では問題ないが，有水晶体眼では最周辺部の視察の際に，眼内レンズ挿入眼ではさらに容易に「斜め収差」(非点収差，コマ収差など)が強く発生するため，視察が妨げられる。

II. 前置レンズと眼底観察像との関係

超高屈折前置レンズの使用による広い観察視野は、細隙灯顕微鏡では補えない倍率の低下を伴い、極端に平面的な観察となることを留意する必要がある。また、レーザー治療を行う上で、スポットサイズの設定にも注意を要する。

◆観察倍率(眼底観察の基本光学系の項参照)

1) 観察像の大きさ：横倍率

$$\begin{aligned} \text{横倍率} &= \frac{\text{眼の総屈折力}}{\text{前置レンズの屈折力}} \\ &= \frac{60 \text{ D}}{\text{前置レンズの屈折力}} \end{aligned}$$

2) 観察像の奥行き(凹凸度)：縦倍率

$$\text{縦倍率} = (\text{横倍率})^2$$

◆レーザー光凝固における注意(レーザーデリバリーシステムの項参照)

1) スポットサイズ

レーザー光凝固装置で設定したスポットサイズは、横倍率に反比例する。

$$\text{スポットサイズ} = \text{設定スポットサイズ} / \text{横倍率}$$

2) 大きなスポットサイズの設定は避ける

Goldmann 三面鏡の場合と異なり、眼底よりも前眼部で光束が集光し、エネルギー集中が生じるため、大きなスポットサイズでの凝固は危険である。

III. 高屈折倒像型前置レンズによる眼底周辺部の観察法

1. 静的観察法(図 5a)

前置レンズを接眼し、そのままレンズの口径内でスリット光束をスキャンさせて眼底周辺部を観察する。周辺部の観察範囲には限界がある。

1) 前眼部の混濁に強いこと：白内障、後発白内障

■レンズの選択(例：QuadrAspheric, SuperQuad 160：VOLK)

高屈折、大口径の広角方レンズが適している(例：QuadrAspheric, SuperQuad 160)。また、接眼部が“つば”形状のものが安定性がよく、レンズの接触に対して閉瞼反応が強いような症例でも安定し

た観察が行える(図 6)。

2. 動的観察法(図 5b, c)

前置レンズを観察方向と逆にやや移動させて(必要に応じて被検者に眼球を前置レンズの方向に向けてもらった状態で)眼底観察を行う。これにより、最周辺部までの眼底観察が可能となる。① できるだけ周辺部、つまり斜めに観察光軸をとれるようにレンズの位置を設定し、② 眼底観察像が最も鮮明になるようにレンズの傾斜角度を調整する。

■高屈折前置レンズの圧迫観察法

レンズを移動、傾斜させるだけでなく、レンズ自体を強膜にやや圧入することにより、非圧迫時の幾何学的な観察角度以上に、より周辺部までの観察が可能となる。

■前置レンズの選択(例：TransEquator-no fringe, EquatorPlus-no fringe：VOLK)

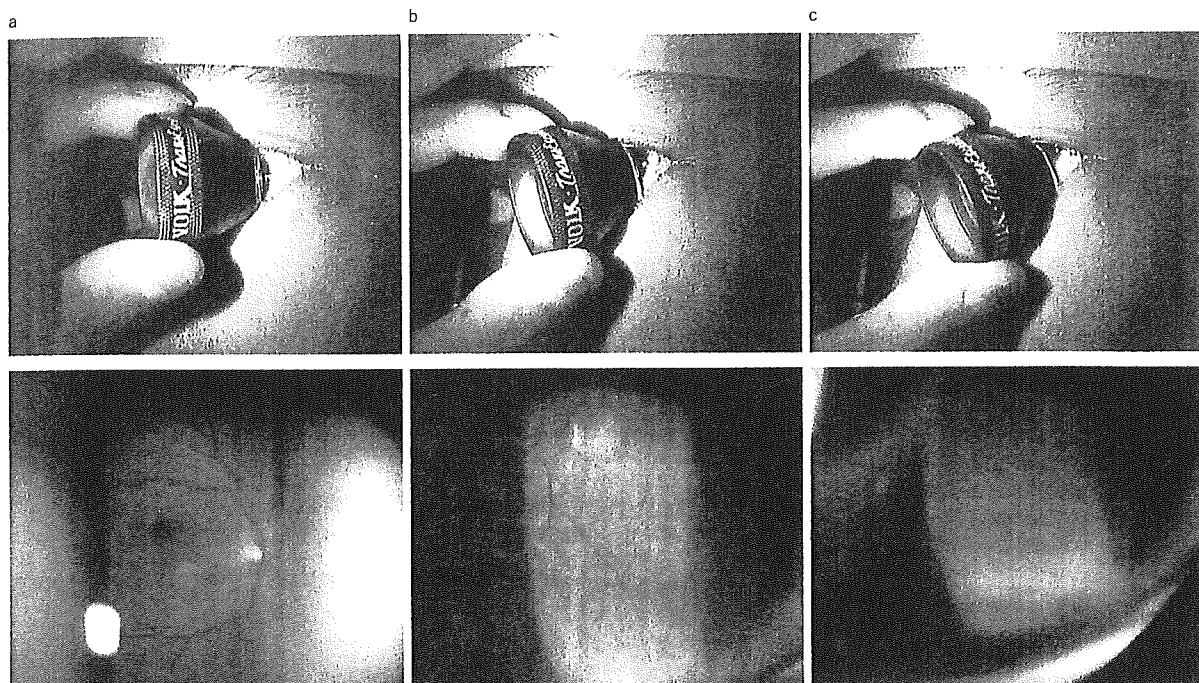
眼底周辺部の観察の容易さと観察される眼底像の質との折り合いから、最も標準的な使用に適しているのは 90 D クラスのレンズといえる(前置レンズの項参照)。観察条件の悪い症例では、さらに高屈折(120 D 超)のレンズが有利である。

※高屈折前置レンズの圧迫観察法とレンズ接眼部の形状(図 6)

高屈折で口径の大きなレンズは観察視野が広い。140°、160°などと観察視野がレンズごとに示されているが、この角度は、どこまで周辺部の観察が可能かを意味しているわけではない。周辺部眼底観察には広角レンズが有利であるが、より重要な条件は、接眼部の形状と操作法である。前置レンズの接眼位置と角度とを適切に設定することにより、最周辺部眼底の観察が可能になる。その際、接眼部が“つば”形状のレンズは、安定性は良いが、自由な操作が妨げられるため、適していない。

IV. 高屈折倒像型前置レンズによる眼底周辺部観察例

図 7～12 に示す。



【図5】倒像型高屈折前置レンズによる動的(圧迫)眼底観察法(TransEquator NF 使用)

a 後極部の観察(静的観察)

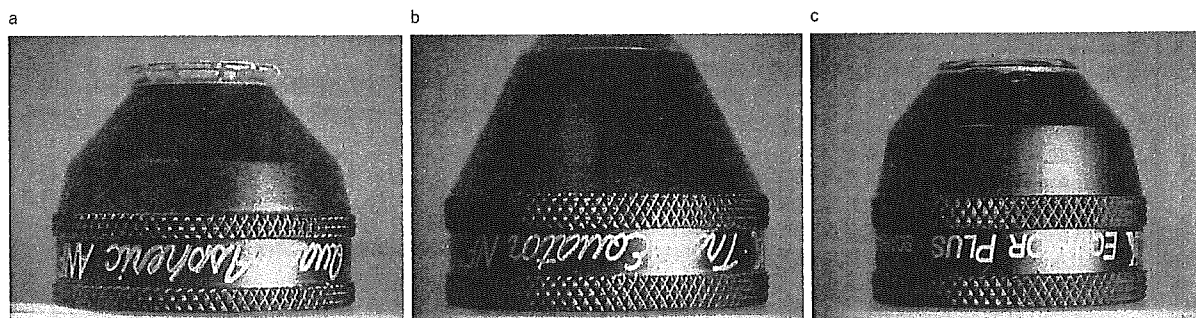
スリット光を周辺部へとスキャンして観察する。

b 中間周辺部の観察

レンズを下方に移動し、同時にわずかに傾斜させる。

c 最周辺部の観察

レンズを下方に移動させ、眼球を圧迫して上転させつつ、同時にレンズの傾斜を調整する。被検者にはレンズと反対の方向を固視してもらう。



【図6】眼底周辺部の観察に適した高屈折前置レンズの接眼部の形状

a fringeのあるタイプ(QuadrAspheric)

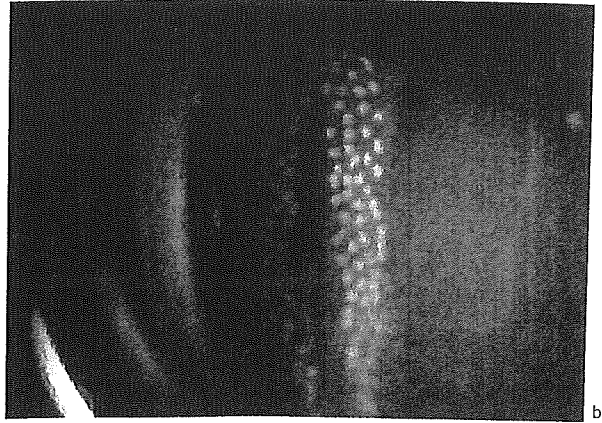
“つば”のある形状のレンズは安定性が良く、静的観察に適している。反面、操作性が制限され、眼底周辺部の観察には適していない。

b, c fringeのないタイプ(b: TransEquator NF, c: EquatorPlus NF)

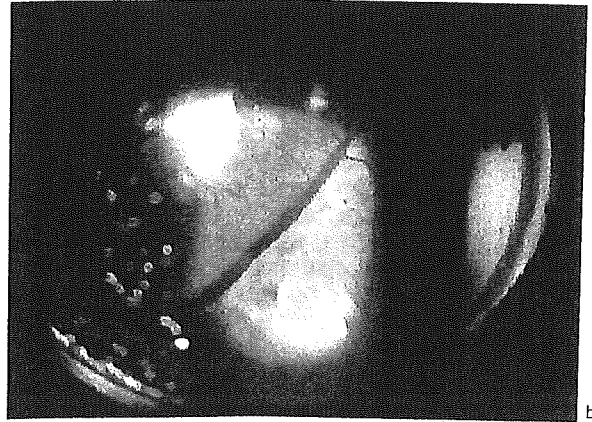
滑らかな接眼部形状であり、自由にレンズ操作が行えるため、習熟すればより眼底周辺部までの観察が行いやすい。

文献

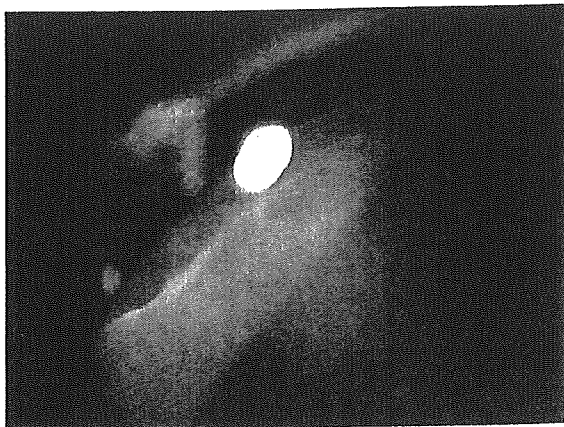
- 1) Mainster, MA et al: Retinal laser lenses: Magnification, spot size and field of view. Br J Ophthalmol 74: 177-179, 1990
- 2) 野田 徹: 最新の眼底検査用レンズの種類と使用法, 眼科学アップデート 2. 樋田哲夫ほか編, 診断と治療社, 東京, 98-107, 1996
- 3) 野田 徹: 細隙灯顕微鏡のデジタル撮影. 眼科診療プラクティス 33. デジタル眼底診断, 小椋祐一郎ほか編, 文光堂, 東京, 78-83, 1998
- 4) 野田 徹ほか: 細隙灯顕微鏡検査. 眼科診療プラクティス 59. 黄斑浮腫の診療, 小椋祐一郎ほか編, 文光堂, 東京, 40-45, 2000
- 5) 野田 徹: 眼底検査と前置レンズ—眼底細隙灯顕微鏡検査と前置レンズの選択. 臨眼 52: 173-176, 1998



〔図7〕赤道部変性巣の観察
 広角倒像型前置レンズでは、広い視野での周辺部眼底像が、後極部と連続した条件で観察できる。
 a 網膜格子状変性症(TransEquator NF 使用) b 同 光凝固直後



〔図8〕広角倒像型前置レンズによる眼底観察像の特徴
 より高屈折(→広い視野)の前置レンズを用いるほど、観察倍率(横倍率は低下し、凹凸(縦倍率:横倍率の二乗に比例)の少ない平面的な観察像となる。Super Field(非接触型)も TransEquator(接触型)も共に 90D クラスの屈折力を有し、観察倍率は実際の 2/3 倍、凹凸度は 1/2 倍の観察像となる。
 a SuperField NC による、格子状変性巣と限局性網膜剝離の観察
 薄い網膜剝離の有無の判断は時に困難な場合がある。
 b TransEquator NF による、網膜剝離に対するバックリング手術後の眼底観察
 バックル突出部をさまざまな前置レンズで観察してみると、使用するレンズによって突出度に顕著な差が生じることが明瞭に感じられる。



〔図9〕TransEquator NF による外傷性鋸状縁断裂の観察
 動的観察法(図5)を駆使することにより、網膜鋸状縁付近の観察が十分可能となる。観察視野において病変の存在する方向へ向かってレンズをわずかに移動し、最も明瞭な観察像が得られるようにレンズを傾斜させる角度を調整する。