

空気置換下硝子体手術用コンタクトレンズの試作とその臨床応用

恵美 和幸¹⁾, 大八木智仁¹⁾, 二村 英之²⁾

¹⁾大阪労災病院眼科, ²⁾HOYA ヘルスケア(株)

要 約

目的: 空気置換下において, 良好な術野を得ることのできる硝子体手術用コンタクトレンズを作製する。

方法: 素材に高屈折率高アッペ数である光学ガラスを選定し, プリズム角度を低く, フロント光学面の曲率半径を大きく, フロント光学面を広くする改良を行った。空気置換下での観察可能範囲を光線追跡法で予測し, また, 作製したレンズを臨床応用した。

結果: 光線追跡法により, 水晶体温存例と偽水晶体眼例では中心角で+47°の視角が得られ, また, 白内障硝子体同時術例では前房内の粘弾性物質の量を変えることにより, 視角は中心角で+47°~+145°まで連続的に

変換可能であると予想された。作製されたレンズを白内障硝子体同時術例, 水晶体温存例, 偽水晶体眼例に応用したところ, 従来のレンズよりも広角で明るく, 立体視にも優れ, 周辺部までの観察が可能であった。

結論: 作製したコンタクトレンズは空気置換下の硝子体手術で有用であることがわかった。(日眼会誌 109: 400-405, 2005)

キーワード: 硝子体手術用コンタクトレンズ, 空気置換, 高屈折率ガラス, 光線追跡法

A new Biconcave Prism Contact Lens for Vitreous Surgery in Gas-filled Eyes

Kazuyuki Emi¹⁾, Tomohito Oyagi¹⁾ and Hideyuki Futamura²⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, Osaka Rosai Hospital

²⁾HOYA Healthcare Corporation

Abstract

Purpose: To obtain a surgical contact lens with adequate operative field in vitreous surgery of gas-filled eyes.

Methods: We designed a new biconcave prism contact lens for gas-filled eyes by improving the material and the design of the lens (prism angle, radius and area of front concave of the lens). The operative field was calculated by a simulation using the ray tracing method for cases of simultaneous phaco-vitreotomy surgery, vitrectomy of pseudo-phakic eyes, and vitrectomy without phaco-surgery. For this study, a prototype of the newly designed lens was made and used for vitrectomy of gas-filled eyes.

Results: The calculated operative field was about 47 degrees (central angle) for vitrectomy of pseudo-phakic eyes and vitrectomy without phaco-surgery.

In cases of simultaneous phaco-vitreotomy surgery, the operative field can be varied continuously from 47 to 145 degrees (central angle) by adjusting the viscoelastic material in the anterior chamber. Appropriate visual field, good binocular vision, and visibility of the peripheral region were obtained in the vitrectomy of gas-filled eyes.

Conclusion: The newly designed contact lens is useful for viewing the fundus during the vitrectomy of gas-filled eyes.

Nippon Ganka Gakkai Zasshi (J Jpn Ophthalmol Soc 109: 400-405, 2005)

Key words: Contact lens for vitrectomy, Fluid-air exchange, Glass of high refractive index, Ray tracing method

I 緒 言

硝子体手術において, 後極から最周辺部までの良好な視認性を確保することは手術操作の確実性を獲得する上

で重要である。特に硝子体腔を空気置換した際には, 屈折率差の大きい気液, あるいは気固界面が生じ, 一般的に眼底の視認性は低下する。その状況を改善するためには, より適切な光学系の設定が必要となる。空気置換下

別刷請求先: 591-8025 堺市長曾根町 1179-3 大阪労災病院眼科 恵美 和幸

(平成 16 年 7 月 21 日受付, 平成 16 年 11 月 25 日改訂受理)

Reprint requests to: Kazuyuki Emi, M.D. Department of Ophthalmology, Osaka Rosai Hospital, 1179-3 Nagasone-cho, Sakai 591-8025, Japan

(Received July 21, 2004 and accepted in revised form November 25, 2004)

の硝子体手術においては、空気-角膜界面および水晶体（あるいは偽水晶体）-硝子体腔界面がおよそ+60～+100 D の光学系を形成するので、それを補正するために、角膜上に前置コンタクトレンズを設置するが、一般には両凹型のコンタクトレンズが使用されている¹⁾²⁾。さらに、周辺部を観察する際には、プリズムと両凹を併せた両凹プリズムレンズが使用されている。しかし、従来の両凹コンタクトレンズでは、フロント光学面の陥凹部が狭いために、光学域が狭く、眼底像が暗いため、顕微鏡での十分な拡大を要する。しかも、フロント光学面の曲率半径が小さいために、球面収差による視野内の歪みが大きいなど、改善すべき点が多い。今回、空気置換下において広角で良好な術野を得ることのできる硝子体手術用前置広角コンタクトレンズを考案し、種々の硝子体手術例に臨床応用したので報告する。また、白内障硝子体同時術において、我々は空気置換時に前房内の粘弾性物質の量を調節し、水晶体後囊の曲率を変化させることで、より適切な術野を得る手技を既に報告³⁾しているが、今回作製したレンズをこの手技に臨床応用したので併せて報告する。

II 実験方法

今回のコンタクトレンズの設計においては、まずレンズ素材の選定が重要であり、これを選定した上で、レンズデザインの改良を試みた。

周辺部をより広角で観察するため、光の屈折が大きい高屈折率ガラスを用いた方が有利であり、しかも、高屈折率ガラスを使用することにより、同じマイナスパワーを得るためのフロント光学面の曲率半径を大きくすることができるので、球面収差をより低減できる利点がある。しかし、一般的には高屈折率であるガラスは、光の波長による屈折率差が大きい、すなわちアッペ数が低いために色収差を生じやすくなる傾向にある。したがって、高屈折率でありながら、高いアッペ数を有する特性を有するガラス素材を選択する方針とした。通常石英ガラスではアッペ数は 67.7 と高いが、屈折率が 1.46 と低い。一方、今回選定した光学ガラス〔HOYA(株)〕は 1.88 と高屈折率でありながら、アッペ数も 40.8 と比較的高く、今回のレンズの材質としてより適していると考えられたため、試作レンズ材質としては当該高屈折率光学ガラスを選択した(表 1)。

レンズのデザインについては 3 つの要素、すなわち、プリズムの角度、フロント光学面の曲率半径、フロント光学面の陥凹部の範囲について検討した。プリズム角度の設定においては、プリズム角度が大きいほど周辺部までの観察が可能となるが、同時にプリズム収差が大きくなるため、周辺部の観察が可能な範囲で、プリズム角度を最小限に抑える方針とした。フロント光学面の曲率半径は、それが小さいほど広範囲の観察視野が得られる

表 1 石英ガラスと高屈折光学ガラスの光学特性値

	石英ガラス	高屈折光学ガラス
屈折率 n_d	1.46	1.88
アッペ数 v_d	67.7	40.8

表 2 光線追跡法における条件

屈折率	
角膜	1.3771
粘弾性物質	1.33
房水	1.3374
水晶体(全屈折率)	1.42
硝子体	1.336
屈曲面の位置(角膜前面から mm)	
角膜 後面	0.55
水晶体 前面	3.6
水晶体 後面	7.6
曲率半径(mm)	
角膜 前面	7.8
角膜 後面	6.5
水晶体 前面	10.2
水晶体 後面	-6
レンズと角膜の間の粘弾性物質の厚み(mm)	0.05
角膜前面から角膜面までの距離(mm)	24
光の波長(nm)	546.1

が、像自体が小さくなると同時に、球面収差が大きくなり像の歪みが大きくなる。そこで、フロント光学面の曲率半径を大きくして像の歪みを少なくすると同時に、フロント光学面の陥凹部の範囲を可能な限り広く取り、光学域を広くする方針とした。レンズの設計においては LeGrand の模型眼の数値⁴⁾を用いた光線追跡法を用いたシミュレーションを参考にしてデザインを決定し、その結果に基づいて試作レンズを作製した。シミュレーションの条件を表 2 に示す。作製された試作レンズを網膜剝離に対する種々の条件下での硝子体手術(白内障硝子体同時術、水晶体温存硝子体手術、偽水晶体眼硝子体手術)に実際に試用し、術中視野、立体視などでレンズの評価を行った。また、白内障硝子体同時術においては、既報³⁾と同様に空気置換時に水晶体囊中の粘弾性物質の量を調整し、後囊の曲率を変化させた際の観察可能範囲のシミュレーションを行うとともに、実際の手術に応用し、その観察可能範囲を確認しながら評価を行った。

III 結果

前述の指針により試作したレンズのデザインを図 1 A に示す。従来の両凹プリズムに比べ(図 1 B)、プリズム角度が低いこと、フロント光学面の曲率半径が大きいこと、フロント光学面が広いことが特徴である。この試作レンズの空気灌流下でのシミュレーションの結果を図 2 に示したが、眼球の光軸に平行に光を入れた条件下での観察可能域を示している。また、白内障硝子体同時術に

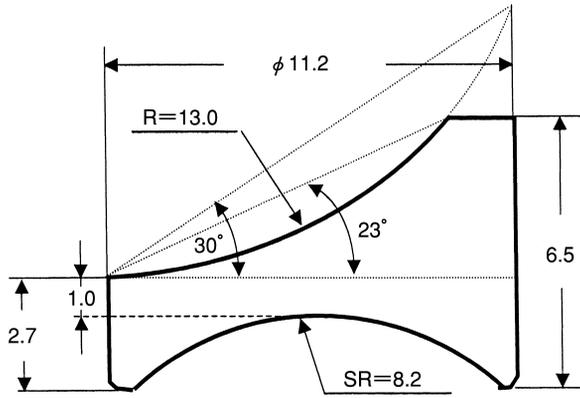


図 1A 試作レンズのデザイン。

従来のバイコンベックスプリズムに比べ、プリズム角度が低いこと、フロント光学面の曲率が低いこと、フロント光学面が広いことが特徴である。

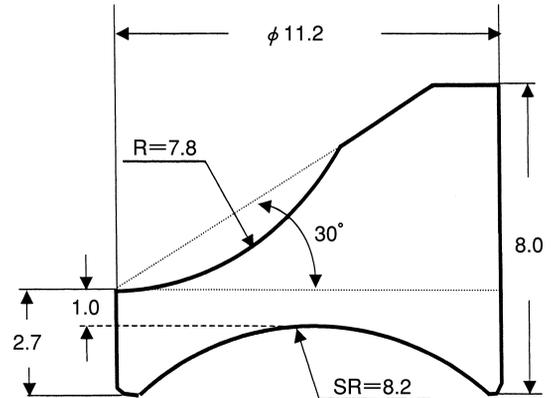


図 1B 市販レンズのデザイン。

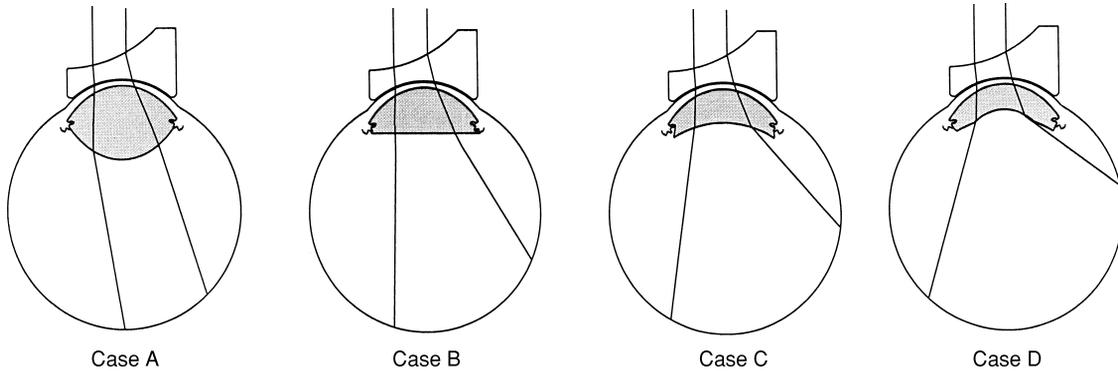


図 2 試作レンズを用いた空気置換下でのシミュレーション。

- Case A：白内障硝子体同時術において後嚢を元の位置とした場合
- Case B：後嚢を平面にした場合。
- Case C：後嚢を前嚢の位置にした場合。
- Case D：後嚢面を 6 mm の CCC より 1 mm 隆起させた場合。

表 3 空気置換下での観察可能域(シミュレーション)

	Case A	Case B	Case C	Case D
観察可能範囲	-1°~+46°	-17°~+66°	-30°~+83°	-44°~+101°
視角	47°	83°	113°	145°

において、粘弾性物質の量を調節して、後嚢の曲率を変化させた場合の観察可能範囲についてもシミュレートした。これらの結果を表3にまとめた。ここで、Case A は白内障硝子体同時術において後嚢を元の位置とした場合であり、Case B は後嚢を平面にした場合、Case C は後嚢を前嚢の位置にした場合、Case D は後嚢面を 6 mm の連続円形破嚢(CCC)より 1 mm 陥凹させた場合である。また、観察可能範囲および視角は、後極を 0°として観察可能域を眼球中心からの中心角で示した。Case A では観察可能範囲は中心角で 47°であり、そこから前房内の粘弾性物質を減少させ、後嚢の曲率を負にすることにより、観察可能範囲は拡大し、Case D では中心角

で 145°の視角が得られることが予想された。

作製された試作レンズを網膜剥離に対する種々の条件下での硝子体手術(白内障硝子体同時術例、水晶体温存硝子体手術例、偽水晶体眼硝子体手術例)に実際に試用した症例の術中観察像を図3A~Cに示した。また、白内障硝子体同時術において、硝子体内空気置換時に水晶体嚢中の粘弾性物質の量を変化させたときの観察像を図4に示した。白内障硝子体同時術においては、シミュレーションから予測された通り、粘弾性物質を増加すれば拡大した像が得られ、また、減少させることにより、観察可能範囲が広がり、周辺部までの観察が可能であった。偽水晶体眼例、および水晶体温存硝子体手術例にお

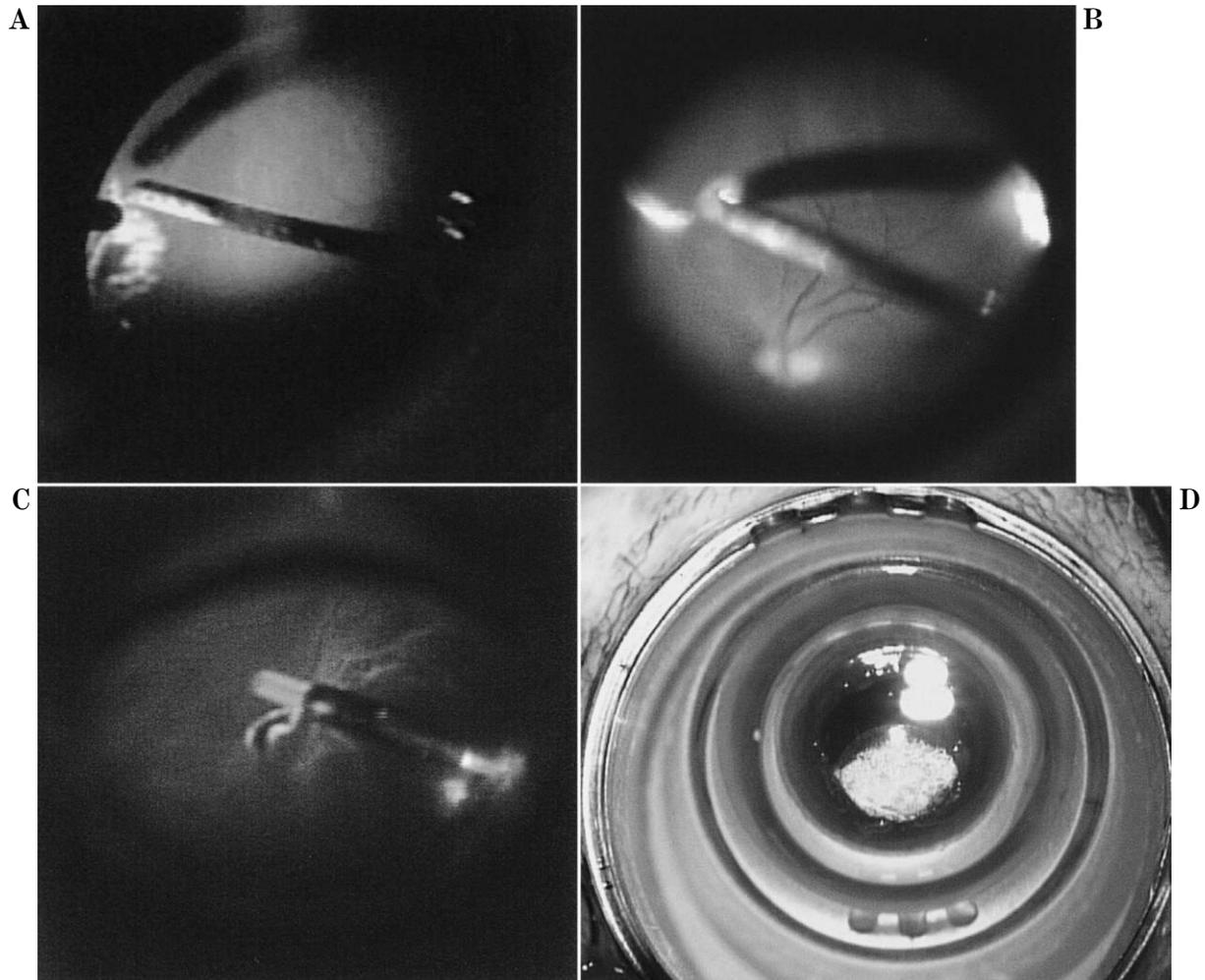


図 3 試作レンズを用いた空気置換下での眼底観察例。

A：白内障硝子体同時術例。周辺部円孔に対するレーザー光凝固。

B：水晶体温存術例。意図的円孔に対するレーザー光凝固。

C：偽水晶体眼手術例。周辺部裂孔からの網膜下液吸引。

D：Cにおける眼内レンズ後面の結露。

いても、適度な拡大像を得ることができ、また、観察時の立体視も良好である印象を得た。特に偽水晶体眼では図3Dのように空気灌流下でしばしば結露を生じるが、今回作製されたレンズは光学域が広いとため、視認性は従来のレンズに比して優れていた。

IV 考 按

硝子体手術において空気置換下での眼底観察に使われるレンズとして、接触型の両凹プリズムレンズ、Mini-Quadなどの接触型 Wide Angle Viewing system, BI-OMなどの非接触型レンズ⁵⁾⁶⁾がある。ワイドビューシステムでは、広汎の眼底像が得られるが、細部の観察には不利である。また、インバータが顕微鏡に設置される必要があること、レンズ自体が大きいため、硝子体カッターなどの取り扱いが不自由になるなどの点から、通常の症例では使いにくいと思われる。一般的に非接触型のレンズシステムは視野が広く、明るい像が得られるが、

手術操作や患者の体動など、動的な条件下で良好な視認性を保つのは熟練を要する。適切なレンズを選択すれば種々の状況に対応でき、最も簡便かつ使用上の制限が少ないのは、硝子体手術用コンタクトレンズである。しかし、従来の空気置換下で用いる両凹コンタクトレンズにおいては良好な視認性を得るのが難しく、空気置換下での操作を困難なものとする一因であった。従来の両凹レンズではフロント光学面の陥凹の曲率半径が小さいため、像の歪みが大きい、あるいは光学域が狭いため、眼底の透見が不良であるなど、種々の問題があった。今回、我々は両凹コンタクトレンズを素材とデザインの双方から再検討し、拡大率と立体視の良好なレンズを作製した。デザインの決定においては光線追跡法を用いたシミュレーションを行ったが、実際の使用状況とよく一致していた。作製されたレンズは予想通り、白内障硝子体同時術、水晶体温存硝子体手術、偽水晶体眼硝子体手術のいずれの条件下でも適度な拡大像を得ることができ、

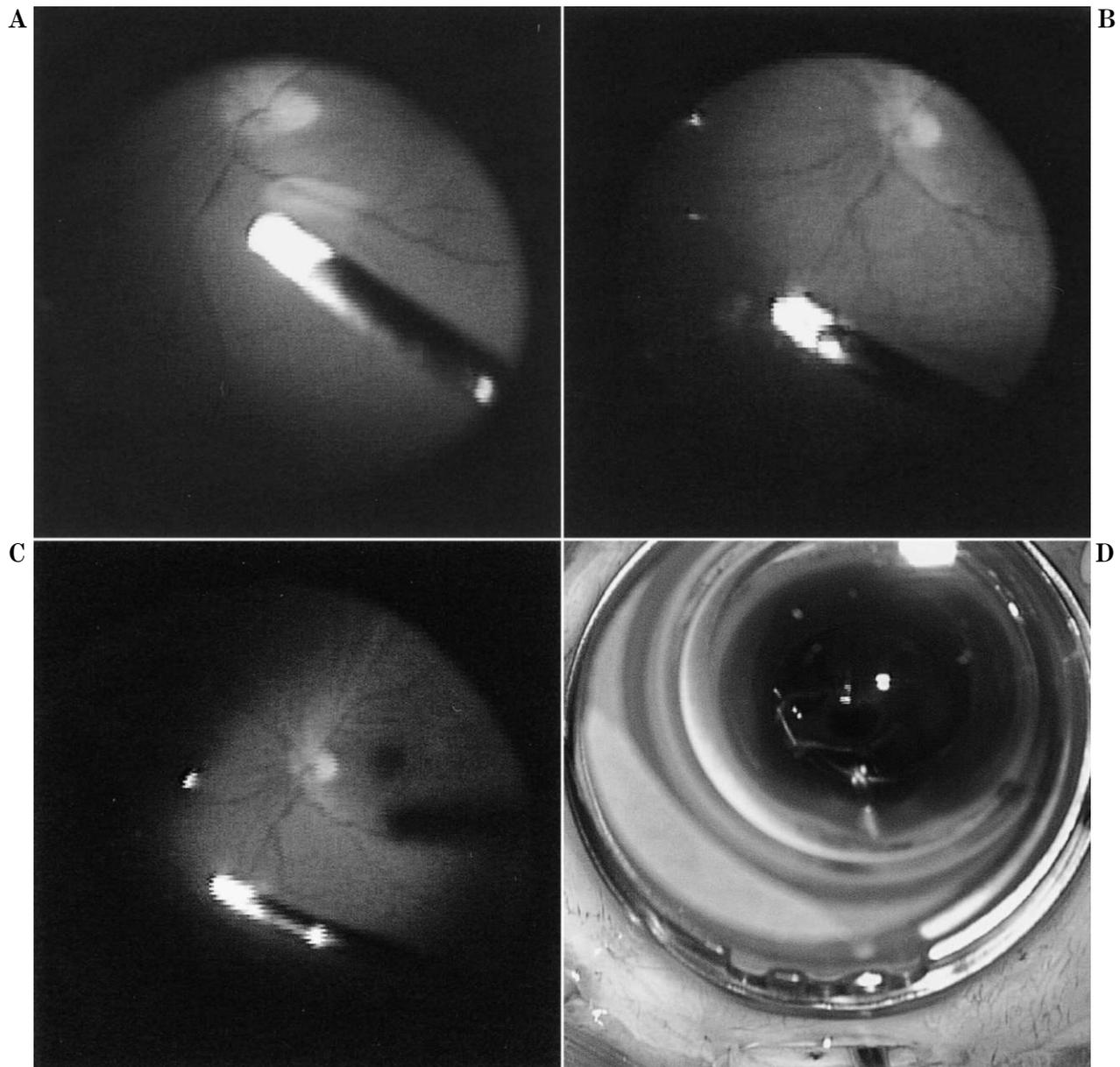


図 4 前房内粘弾性物質質量を変化させた際の観察可能域の変化。

A~C: A~Cの順で粘弾性物質を減じている。粘弾性物質の量を減ずることにより観察可能域が拡大するのがわかる。

D: 強角膜切開創から粘弾性物質の量を調節する。

また、観察時の立体視も良好であり、空気置換下での観察には特に優れたレンズである。さらに、このレンズを白内障硝子体同時術の空気置換時に使用した際には、前房内の粘弾性物質の量を調節することで簡便に眼底像の拡大、縮小が可能であり、術中操作に必要な視野を得る方法として有用であることも明らかとなった。また、偽水晶体眼の場合、空気置換下では眼内レンズ後面の結露が生じ、視認性を著しく低下させることがあるが、今回試作したレンズを使用することにより、眼内レンズ後面の結露による視認性の低下が抑えられるという印象を得た。これは試作レンズのフロント光学面の陥凹が広く、したがって光学域が広いために眼内レンズ後面の一部に

結露した場合でも、結露していない部分を通して眼底の観察が可能となるためと考えられ、その点についても有用であると考えられる。

当科において過去およそ3年間、空気置換を施行した硝子体施術例(裂孔原性網膜剝離、特発性黄斑円孔、増殖糖尿病網膜症など)約800例に対し、ほぼ全例このレンズを使用してきた。その結果、後極部のみならず周辺部の像も歪みが少なく、光学域の広い明るい像が得られ、白内障硝子体同時術、偽水晶体眼での硝子体手術、水晶体温存硝子体手術のいずれの条件下でも、空気置換下で特に有用であった。また使用に際し、本レンズに起因する問題はなかった。

以上から、空気置換下で使用する新しい両凹コンタクトレンズを試作し、臨床応用してきたが、従来のレンズより広角で明るく、かつ像の歪みも少なく、硝子体手術における空気置換時の眼底観察用コンタクトレンズとしては極めて有用であると考えられた。

文 献

- 1) **Landers MB, Stefansson E, Wolbarsht ML** : The optics of vitreous surgery. *Am J Ophthalmol* 91 : 611—614, 1981.
 - 2) **Sebestyen JG** : Biconcave contact lens for vitreous surgery. *Am J Ophthalmol* 87 : 719—720, 1979.
 - 3) **Oyagi T, Emi K** : Technique to alter field of view during vitrectomy with phacoemulsification and aspiration in gas-filled eye. *Am J Ophthalmol* 136 : 935—937, 2003.
 - 4) **LeGrand Y** : *Form and Space Vision*. Bloomington : Indiana University Press, 1967.
 - 5) **Oldendoerp J** : Fluid-gas exchange in vitreous surgery using the BIOM, VPFS and SDI wide-angle observation systems. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 194 : 129—132, 1989.
 - 6) **Bovey EH, Gonbers M** : A new device for non-contact wide-angle viewing of the fundus during vitrectomy. *Arch Ophthalmol* 113 : 1572—1573, 1995.
-