

モデル眼を用いた多焦点眼内レンズの網膜像の比較

高良由紀子¹⁾, 長野斗志克¹⁾, 谷口 重雄¹⁾, 小沢 忠彦²⁾, 金子 雅信³⁾

¹⁾昭和大学藤が丘病院眼科, ²⁾小沢眼科病院, ³⁾株式会社ニコン

要 約

モデル眼を用いて, 単焦点眼内レンズと2種類の多焦点眼内レンズの網膜画像について検討を行った。多焦点レンズは, 屈折型レンズと回折型レンズを用いた。モデル眼の瞳孔径は3 mm径を用いた。モデル眼の網膜面は, 細隙灯顕微鏡に非接触型角膜内皮アタッチメントを装着して観察した。多焦点眼内レンズの遠用部分に焦点を合わせた時は, 屈折型眼内レンズの網膜画像は単焦点レンズの網膜画像とほぼ同等で, 回折型レンズより良好であった。眼内レンズの近用部分に焦点を合わせた時は, 回折型レンズの近見画像は遠見画像とほぼ同等であり,

屈折型レンズの近見画像より良好であった。また, 倒像鏡の光に照らされた時のモデル眼の網膜画像についても比較した。単焦点眼内レンズに比べ, 回折型レンズは反射光が最も強くみられ, これは屈折型レンズにもみられなかった。モデル眼を用いた観察システムは, 多焦点レンズ眼に予想される視機能の分析に有用と考えられる。(日眼会誌 98:1091-1096, 1994)

キーワード: モデル眼, 屈折型多焦点レンズ, 回折型多焦点レンズ

The Retinal Image of Three Multifocal Intraocular Lenses through an Eye Model

Yukiko Kora¹⁾, Toshikatsu Nagano¹⁾, Shigeo Yaguchi¹⁾,
Tadahiko Kozawa²⁾ and Masanobu Kaneko³⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, Showa University School of Medicine, Fujigaoka Hospital

²⁾Kozawa Eye Hospital

³⁾Nikon Corporation

Abstract

Retinal images produced by two types of multifocal intraocular lenses (IOLs) were studied using an eye model. One of them was a refractive IOL with five zones, and the other was a diffractive lens. The IOLs were inserted into an eye model with a pupil diameter of 3 mm. The retinal plane of the eye model was observed microscopically. When the section of the IOL used for far vision was in focus, the retinal image of the refractive IOL was almost the same as that of the monofocal IOL, which was better than that of the diffractive IOL. When the near vision section of the IOL was in focus, the

retinal image of the diffractive IOL had almost the same quality as the far section. The light rings produced when the multifocal IOLs were illuminated by a glare source were also examined. They showed that the diffractive IOL was stronger than the refractive IOL, but the monofocal was the smallest of the three. (J Jpn Ophthalmol Soc 98:1091-1096, 1994)

Key words: Refractive multifocal IOL, Diffractive multifocal IOL, An eye model

I 緒 言

近年, 白内障手術後の視力矯正方法として, 眼内レンズは眼鏡, コンタクトレンズに代わり広く用いられている。眼内レンズは現在, 単焦点眼内レンズ (以下, 単焦

点レンズ) が一般に用いられているが, 調節力がないため, 遠用眼鏡もしくは近用眼鏡による矯正が少なくともどちらかの一方が必要である。そこで, この欠点を補うため, 遠見視力および近見視力の同時確保を目的とした多焦点眼内レンズ (以下, 多焦点レンズ) の開発が行わ

別刷請求先: 142 東京都品川区旗の台1-5-8 昭和大学医学部眼科学教室 高良由紀子
(平成6年2月10日受付, 平成6年7月9日改訂受理)

Reprint requests to: Yukiko Kora M.D. Department of Ophthalmology, Showa University, School of Medicine,
1-5-8 Hatanodai, Shinagawa-ku, Tokyo 142, Japan

(Received February 10, 1994 and accepted in revised form July 9, 1994)

れてきた。多焦点回折型レンズ（以下、回折型レンズ）についてはすでに使用が認可されており、その臨床結果については、これまで多数の報告が行われている^{1)~6)}が、遠見、近見視力が同時にある程度得られる利点がある一方、コントラストの低下、夜間の眩輝、光輪視症状が懸念されている²⁾³⁾。多焦点レンズを通して得られる視機能を他覚的に検討するために、モデル眼に多焦点レンズを挿入し、その網膜画像を観察し、単焦点レンズの網膜画像と比較した。

II 実験方法

今回用いたモデル眼は、角膜前面の曲率半径7.51 mm、角膜後面の曲率半径6.80 mm、角膜中心の厚さ0.50 mm、角膜実質の屈折力1.494、角膜の全屈折力42.08 D、前房深度4.50 mm、眼軸長23.99 mmである。角膜面および網膜面はPMMA (polymethylmethacrylate) 製であり、計算上、水を内部に満たすと、モデル眼は20.33 Dの単焦点レンズを水晶体位置に挿入した時に正視となる⁷⁾。瞳孔径は3 mm 径に設定した。このモデル眼に、単焦点レンズと2種類の多焦点レンズを挿入した。多焦点レンズは、多焦点屈折型レンズ（以下、屈折型レンズ）としてはアラガン社製の5ゾーン屈折型レンズを用いた。この多焦点レンズは、連続する5つの同

心円状のゾーンから成り、中心から順に遠用部分と近用部分が交互に配列されている。近用度数は遠用度数に3.5 D 加入されている。光学部直径は6.5 mm であり、中心遠用部の直径は2 mm である。回折型レンズはアルコン社製回折型レンズを用いた。近用部分は3.5 D 加入されている。モデル眼の網膜面の観察にはニコン社製細隙灯顕微鏡 FS-3 に同社の非接触型角膜内皮アタッチメントを装着したものをを用いた(図1)。網膜画像は、ビデオで送出しテレビモニター上で観察し、同時に35 mm カ

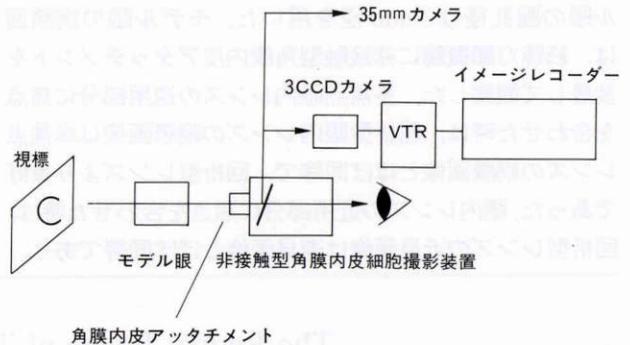


図1 モデル眼に眼内レンズを挿入した時の網膜面の観察系。

網膜面の観察には細隙灯顕微鏡と、これに非接触型角膜内皮アタッチメントを取り付けて行った。

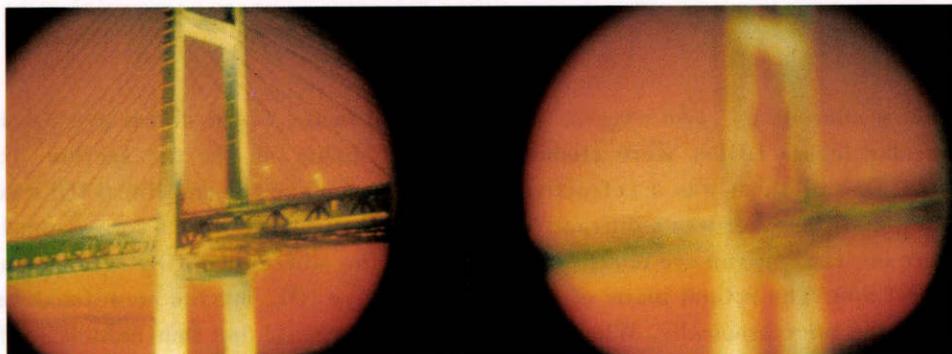


図2 単焦点レンズを挿入した時のモデル眼の網膜画像。

左側に遠見画像、右側に近見画像を示す。近見画像は、モデル眼の角膜前方12 mm に-2.5 D の球面レンズを置いて撮影した。

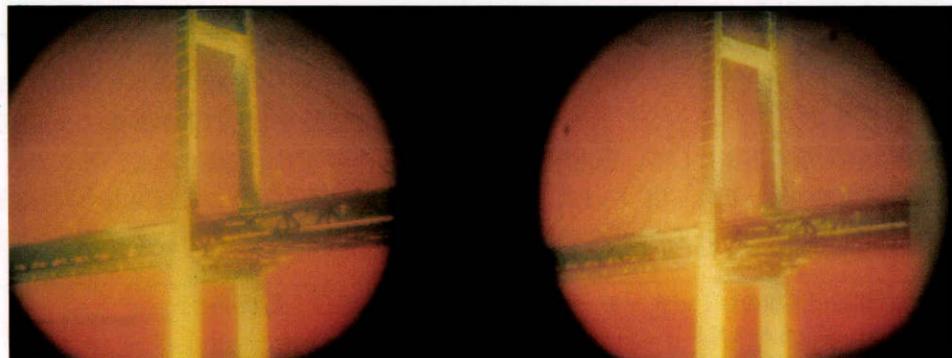


図3 回折型レンズを挿入した時のモデル眼の網膜画像。

左側に遠見画像、右側に近見画像を示す。

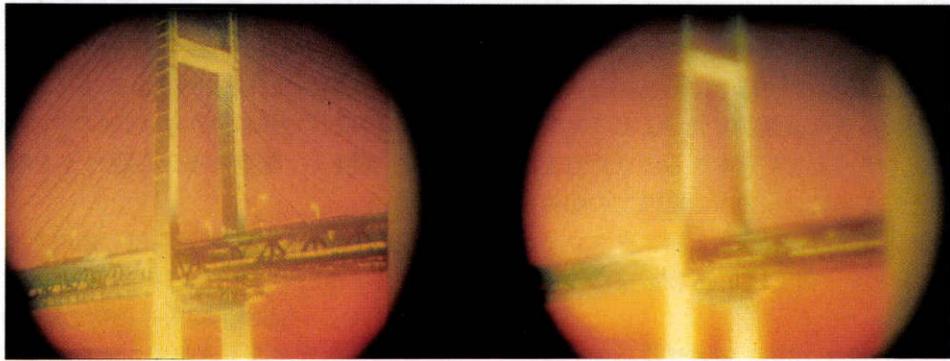


図4 屈折型レンズを挿入した時のモデル眼の網膜画像。
左側に遠見画像、右側に近見画像を示す。

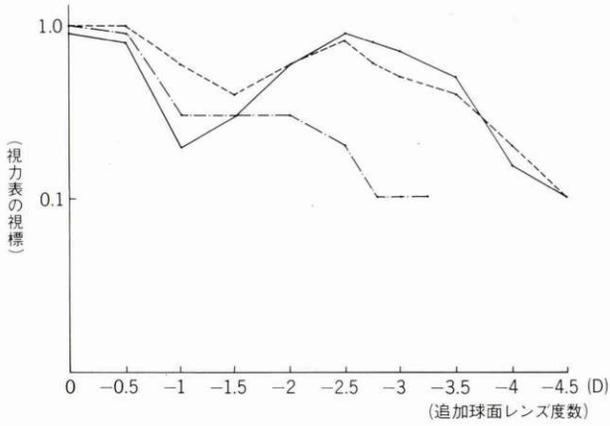


図5 単焦点レンズ、回折型レンズ、屈折型レンズの defocus curve.

単焦点レンズで1.0の視標が観察できる設定で、単焦点レンズ、回折型レンズ、屈折型レンズを挿入し、defocus curveを測定した。これに-0.5 D ずつ球面レンズ度数を加算して、観察できる視標の大きさを測定した。単焦点レンズは、-3.25 Dの球面レンズから加算すると0.1の視標が読み取れない。黒丸：単焦点レンズ、破線：屈折型レンズ、実線：回折型レンズ

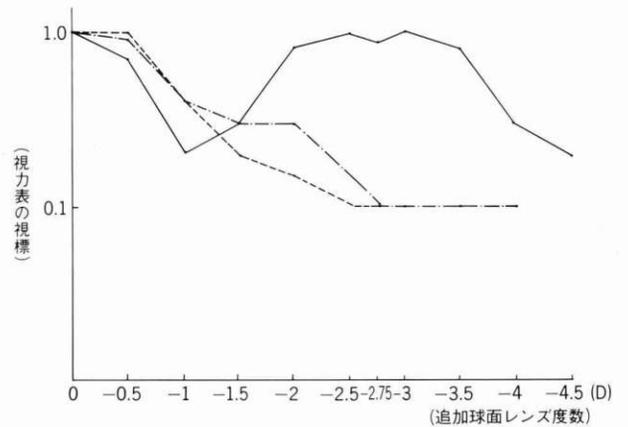


図6 モデル眼の瞳孔型を2 mmのものに代えて、単焦点レンズ、回折型レンズ、屈折型レンズそれぞれの defocus curveを測定した。

回折型レンズは、-2.75 Dまで、単焦点レンズは-4 Dを過ぎると0.1の視標が読み取れない。黒丸：単焦点レンズ、破線：屈折型レンズ、実線：回折型レンズ

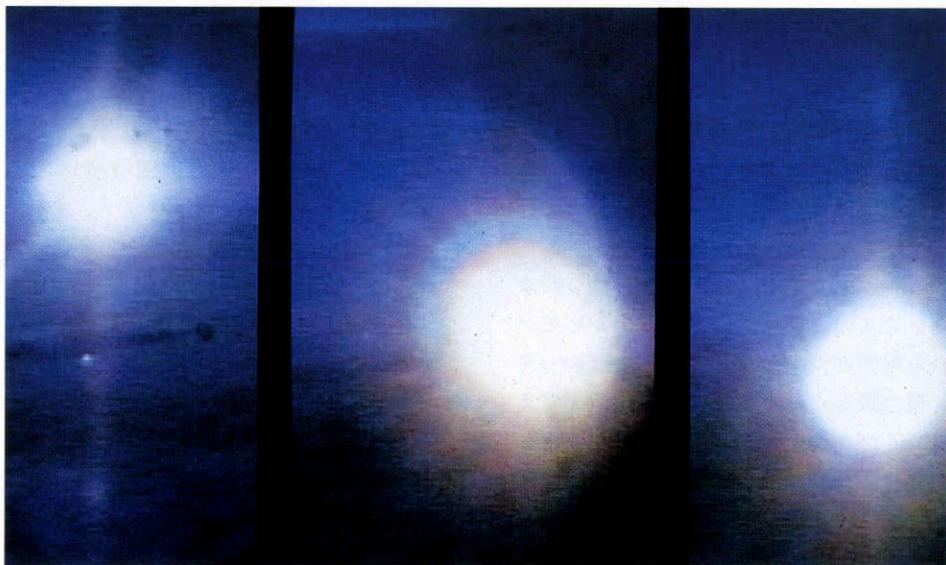


図7 モデル眼に倒像鏡の光を照らし、眼内レンズを通して網膜面を撮影した。
左側から、単焦点、回折型、屈折型の順となっている。

メラで写真を撮影した。網膜画像の観察条件は、はじめに単焦点レンズをモデル眼に挿入し、日本点眼薬研究所発行の近距離標準精密試視力表（以下、近見視力表）をモデル眼の角膜頂点から30 cm前方に置き、1.0のランドルト環がテレビモニター上で判別できるように点光源で視力表を照らした。この時の視力表の紙面上の明るさは、24,000 luxであった。写真フィルムはエタクロームISO 400を用い、シャッター速度は0.25秒の条件で撮影した。

1. 実験1：多焦点レンズの遠見、近見網膜画像の撮影

モデル眼の角膜頂点から30 cmの距離に風景写真を置き、網膜面を非接触型の角膜内皮アタッチメントで観察した。角膜内皮アタッチメントを前後させることにより、2か所に最も像が鮮明になる部分が認められ、これを撮影した。今回用いたモデル眼に、例えば、遠用部19.1 Dで3.5 D加入の多焦点レンズを挿入したとすると、角膜前30 cmの網膜共役点は、眼内レンズ後面から遠見部までの共役点の距離は19.3 mm、近見網膜共役点までの距離は17.9 mmとなる。多焦点レンズの遠見網膜画像、近見網膜画像（以下、遠見画像、近見画像）を撮影し、単焦点レンズの遠見、近見画像と比較した。なお、単焦点レンズの近見画像は、角膜内皮アタッチメントの移動距離を多焦点レンズの移動距離と一致させても、観察系の軸がずれて像が不鮮明になることがあり、その判別が困難であった。そこで、角膜内皮アタッチメントの位置を固定し、モデル眼の角膜前方12 mmの位置に-2.5 Dの球面レンズを置いた時は多焦点レンズの近用加入度数(3.5 D)部分にほぼ焦点が合ったので、単焦点レンズの入ったモデル眼の角膜前方12 mmに-2.5 Dの球面レンズを置いてこれを撮影した。

2. 実験2：多焦点レンズと単焦点レンズの判別できる視標、視力値の比較

モデル眼の角膜頂点から30 cmの距離に近見視力表を置き、多焦点レンズと単焦点レンズを挿入して0.1~1.0までの一連のランドルト環がテレビモニター上で判別できる視力値を調べた。この場合の視力値は、視力値の本来の定義と異なるものであるが、網膜画像を客観的に評価するために便宜上用いた。中間距離における視標の判別度についても調べるために、モデル眼の角膜頂点の前方12 mmに球面レンズを-0.5 Dずつ順次加算して、各球面レンズの加算度数におけるテレビモニター上で確認できる視標の視力値を調べた。中間視力を調べる方法には、視力表からモデル眼までの位置を変えて測定する方法があるが、距離に対応した異なる大きさの視標が必要であり、また網膜面の位置がずれて観察が難しくなるので、今回は、単焦点、多焦点レンズともマイナスレンズを加算する方法を用いて比較した。この時の加入マイナスレンズ度数と確認できる視標の視力値の関係を defocus curve として表した。

3. 実験3：モデル眼の瞳孔径を小さくした時の defocus curve の測定

モデル眼の瞳孔径を3 mmから2 mmに置き換え、実験2と同様の実験を行い、判別できる視標を調べた。

4. 実験4：暗室でモデル眼に光を照らした時の網膜画像

室内を暗くして、モデル眼の観察対象を写真に代え、これを3 m先に置いた。この写真と同じ位置から倒像鏡の光をモデル眼に照らし、この時の網膜画像を観察した。この時の写真紙面上の明るさは60 luxであった。

III 結 果

1. 実験1の結果

単焦点レンズの遠見、近見画像を図2に示す。遠見画像は鮮明で、画像の微細な点まで観察できたが、-2.5 Dの球面レンズを置いて撮影した近見画像は不鮮明であった。回折型レンズの遠見、近見画像を図3に、屈折型レンズの遠見、近見画像を図4に示す。回折型レンズの遠見画像は、単焦点レンズの遠見画像に比べ、精度の低下がみられた。回折型レンズの遠見画像と近見画像を比べると、どちらも同程度の画像であった。

屈折型5ゾーンレンズの遠見画像は回折型レンズよりも鮮明であり、近見画像は回折型レンズより低下していた。しかし、単焦点レンズ近見画像よりは良好であった。

2. 実験2の結果（図5）

単焦点レンズを挿入した時に、近見視力表の1.0の視標が判別できる明るさは視力表の紙面上で24,000 luxであった。単焦点レンズでは、-1 Dの球面レンズ加入で判別可能な視標の大きさは0.3の視標に低下し、マイナスレンズ加算によりさらに低下した。多焦点レンズは、2種類とも2峰性に小さな視標まで判別できるピークがあった。加入度数0 D、すなわち遠用部分での判別できる視標は、屈折型では1.0、回折型では0.9であり、モデル眼の角膜頂点の12 mm前方に-2.5~-3.5 Dの球面レンズを加算して多焦点レンズの近用部分に焦点が合った時は、屈折型0.8、回折型0.9であった。屈折型レンズでは、-1 Dまでの加入では回折型レンズより小さな視標まで判別できるが、-2.5 D加入、すなわち近用レンズ部分付近に焦点が合う回折型レンズの方が良好な結果を得た。

3. 実験3の結果（図3）

瞳孔径2 mmのモデル眼に単焦点レンズを挿入してマイナスレンズを順次加入した時、判別できる視標は3 mm瞳孔径のモデル眼とほぼ同様であった。回折型レンズの defocus curve は瞳孔径3 mmの条件の時より良好となったが、屈折型レンズでは近見部分の視標の判別度は低下した。

4. 実験4の結果（図7）

単焦点レンズと比較して回折型レンズでは、光学部の

回折リングに対応していると思われる光の輪が観察された。屈折型レンズでは、単焦点レンズより強く、回折型レンズよりも弱い光の反射が倒像鏡の光に対応して周囲に観察された。

IV 考 按

多焦点レンズの臨床成績については、屈折型、回折型レンズともに、これまでいくつかの報告が行われてきた^{1)~6)}。これらによれば、多焦点レンズ挿入例の遠見視力、近見視力とも満足すべき結果であったと報告されているが、その一方、若干のコントラスト低下があることや、夜間の眩輝、光輪視症状が懸念されている。我々は、多焦点レンズの問題点を他覚的に評価するために、モデル眼を用いた実験システムを考案した。網膜面に対する撮影装置は、手術用顕微鏡のような焦点深度が深い観察系では多焦点レンズの遠見画像、近見画像を分けてとらえることが難しいので、焦点深度が非常に浅い細隙灯顕微鏡とそのアタッチメントレンズを用いた。

実験1では、遠見画像と近見画像の観察を行った。単焦点レンズの遠見画像を基準に、回折型、屈折型レンズの遠見、近見画像を観察して、その特徴を分析した。その結果、回折型レンズの近見画像が従来臨床結果で報告されているように、単焦点レンズ、屈折型レンズの近見画像よりも良好であることが今回はじめて他覚的画像としてモデル眼でも確認できた。モデル眼における回折型レンズの遠見、近見画像はほぼ同等の像で、単焦点レンズの遠見画像よりは不鮮明であった。屈折型レンズでは、臨床結果は遠見視力優位が報告されている⁶⁾が、モデル眼においても遠見画像の方が近見画像より鮮明であり、さらに、遠見画像は回折型のものより明瞭であり、画像の微細な部分でも判別可能であった。モデル眼から得られた結果は、臨床報告と一致するものと考えられる。

次に、モデル眼の視標として、近見視力表を用いてマイナズレンズを0.5Dずつ加算することでdefocus curveを測定した。単焦点レンズでは、マイナズレンズを加算するに従い判別できる視力表の視標も大きく、小さな視標がみえなくなる。多焦点レンズでは、遠用、近用部分で2峰性に小さな視標まで判別できる部分があり、これはレンズ光学上の特性から予想されるものであった。さらに、屈折型レンズではマイナズレンズ加算が少ない、すなわち遠用部分に焦点の合う付近では、回折型レンズより小さい視標の判別まで可能であった。この傾向は-2.5Dレンズ加入から逆転し、回折型レンズの方がより小さな視標まで判別可能であった。屈折型レンズの遠見視力優位、回折型レンズでは近見視力優位が今回のモデル眼で確認できた。

回折型レンズは入射光線が等分に分配されて遠近に焦点を結ぶ構造で、瞳孔径は近見視力に影響を与えないものと理論的にも予想される。屈折型レンズは中心に遠用

部分があり、その外側に近用のゾーンが配列されるタイプのもので、瞳孔径が小さいと近用部分が露出せず、近見視力が低下することが予想され、瞳孔径の大きさにより適切なデザインの多焦点レンズを選択することが提唱されている⁶⁾。そこで、モデル眼の瞳孔径を2mmに小さくした場合の単焦点、屈折型、回折型レンズのdefocus curveを測定した(図9)。その結果、回折型レンズでは明らかな差はみられないが、屈折型レンズでは瞳孔径3mmの時にみられた2峰性のピークはみられず、ほぼ単焦点レンズと同様な結果であった。今回用いた屈折型レンズは、構造上は中心から1.5mmの部分までは遠用部分で、この外側からは緩やかに近用部分に移行している。したがって、瞳孔径2mmの実験モデルでは、近用部分がほとんど露出しておらず、このような結果になったと考えられ、臨床症例においても、瞳孔径は多焦点レンズ選択の重要な因子となると思われる。

最近、多焦点レンズを移植した臨床症例において、眩輝、光輪視症状が話題になっている。当科においても多焦点レンズ移植症例では、夜間に強い光をみた時などに光の輪がみえると訴える症例を経験した。そこで、このような眩輝、光輪視症状を起している時の網膜像の再現を試みた。回折型レンズでは回折リングに対応した何重にも広がる光の輪がみられ、これは、光源の光を強くするとより明瞭にみられた。一方、屈折型レンズでは、淡い光が倒像鏡の光に対応して丸く取り囲んでみられた。どちらの多焦点レンズでも、このような光の輪は、単焦点レンズを照らした場合と比べ明らかに強くみられた。

モデル眼を用いた2種類の多焦点レンズの機能の分析、問題点について検討を行い、瞳孔径などの条件を変化させることで、より詳細に多焦点レンズの特性を知ることができた。新しい眼内レンズの開発に伴う他覚的な評価として、本システムは有用と考えられる。

文 献

- 1) Simpson MJ: The diffractive multifocal intraocular lens. *Eur J Implant Refract Surg* 1: 115-121, 1989.
- 2) Lehmann RP: Experience with 3M diffractive multifocal IOL: Follow-up on a small series. *Implants in Ophthal* 3: 74-76, 1989.
- 3) Olsen T, Corydon L: Contrast Sensitivity in patients with a new type of multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 16: 42-46, 1990.
- 4) Duffey R, Zabel R, Lindsrom R: Multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 16: 423-429, 1990.
- 5) 馬嶋慶直, 別当京子: 多焦点眼内レンズ. *眼科* 32: 1183-1190, 1990.
- 6) Koch DD, Samuelson SW, Haft EA, Merin LM: Pupillary size and responsiveness: Implications for selection of a bifocal intraocular lens. *Ophthalmology* 98: 1030-1035, 1991.

- 7) 奈良井早苗, 大倉理恵, 高良由紀子, 谷口重雄, 小沢忠彦, 岡本 伸: 新しく開発された模型眼—眼内レンズ眼の評価の試み—, あたらしい眼科 10: 657—661, 1993.
- 8) 高良由紀子, 奈良井早苗, 丸森美樹, 木崎宏史, 谷口重雄: 5ゾーン屈折型多焦点レンズの臨床成績, IOL 7: 220—224, 1993.