

# 광학벤치 실험을 통한 단초점, 다초점, 연속초점인공수정체의 탈초점곡선 측정

## Measuring Defocus Curves of Monofocal, Multifocal and Extended Depth-of-focus Intraocular Lenses Using Optical Bench Test

구용호<sup>1</sup> · 이창수<sup>2</sup> · 김진수<sup>1</sup> · 신민철<sup>1</sup> · 김은철<sup>3</sup> · 김만수<sup>4</sup> · 황호식<sup>5</sup>

Yong Ho Koo, MD<sup>1</sup>, Chang Su Lee, PhD<sup>2</sup>, Jin Soo Kim, MD<sup>1</sup>, Min Chul Shin, MD, PhD<sup>1</sup>,  
Eun Chul Kim, MD, PhD<sup>3</sup>, Man Soo Kim, MD, PhD<sup>4</sup>, Ho Sik Hwang, MD, PhD<sup>5</sup>

한림대학교 의과대학 춘천성심병원 안과학교실<sup>1</sup>, 수원대학교 공과대학 전자공학과<sup>2</sup>, 가톨릭대학교 의과대학 부천성모병원 안과학교실<sup>3</sup>,  
가톨릭대학교 의과대학 서울성모병원 안과학교실<sup>4</sup>, 가톨릭대학교 의과대학 여의도성모병원 안과학교실<sup>5</sup>

Department of Ophthalmology, Chuncheon Sacred Heart Hospital, Hallym University College of Medicine<sup>1</sup>, Chuncheon, Korea

Department of Electronic Engineering, College of Engineering, The University of Suwon<sup>2</sup>, Hwaseong, Korea

Department of Ophthalmology, Bucheon St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea<sup>3</sup>, Bucheon, Korea

Department of Ophthalmology, Seoul St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea<sup>4</sup>, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea<sup>5</sup>, Seoul, Korea

**Purpose:** To determine the through-focus optical bench test performance of monofocal, bifocal, and extended depth-of-focus intraocular lenses (IOLs), and to measure their defocus curves.

**Methods:** A model eye was placed on an optical bench to test three different IOLs (TECNIS ZXR00, ZMB00, and ZCB00; Abbott Medical Optics, Santa Ana, CA, USA). The focus was changed by inserting trial lenses from +1.00 diopters to -4.00 diopters, in increments of +0.25 diopters. The 1951 United States Air Force Resolution chart was used to determine the quality of the images. The degree of similarity with reference images was given by the cross-correlation coefficient, and defocus curves were drawn and compared.

**Results:** Bifocal IOLs showed lower image quality with the addition of minus diopter trial lenses, but showed good image quality at near distance. Bifocal IOLs also showed a 'double peak' in their defocus curve. Monofocal IOLs showed a lower image quality and cross-correlation coefficient with addition of lower-diopter trial lenses. The extended depth of focus IOLs showed a single peak in their defocus curve, but had a wider range of diopters and better image quality than monofocal IOLs.

**Conclusions:** Bifocal IOLs showed a double peak defocus curve, and extended depth of focus IOLs showed a wider diopter range and better image quality than monofocal IOLs.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(2):153-158

**Keywords:** Bifocal, Defocus curve, Extended depth of focus, Optical bench test

■ Received: 2019. 9. 23.

■ Revised: 2019. 10. 14.

■ Accepted: 2020. 1. 22.

■ Address reprint requests to Ho Sik Hwang, MD, PhD

Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital,  
College of Medicine, The Catholic University of Korea, #10  
63-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07345, Korea  
Tel: 82-2-3779-1025, Fax: 82-2-761-6869  
E-mail: huanghs@hanmail.net

\* Conflicts of Interest: The authors have no conflicts to disclose.

\* This study was Supported by a grant of the Korea Health Technology R&D Project through the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (grant number: HI17C0659), Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF), funded by the Ministry of Education, Republic of Korea (No. 2017R1A1A2A10000681), and the Sodam Scholarship Foundation of Busan Sungmo Eye Hospital.

© 2020 The Korean Ophthalmological Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

현재 백내장수술 시 사용되고 있는 인공수정체의 대다수는 단초점인공수정체며, 정시를 목표로 삽입한 단초점인공수정체는 환자에게 원거리에서 더 좋은 시력을 제공하나, 근거리에서나 중간거리에서는 불편감을 호소하며 돋보기 등을 필요로 하게 된다.<sup>1</sup> 다초점인공수정체는 하나 이상의 초점 거리를 가지고 있어 원거리뿐만 아니라 다른 초점 거리에서도 더 나은 시력을 환자에게 제공하나 대비 감도가 떨어지고 달무리나 눈부심, 중간거리에서의 시력저하 등의 단점도 보고되었다.<sup>2</sup> 연속초점(extended depth of focus) 인공수정체는 렌즈의 앞면은 비구면 표면, 렌즈의 뒷면은 무색의 회절성 표면으로 색 수차를 줄이고 대비감도를 증가시켜 원거리와 더불어 중간거리까지 더 나은 시력을 제공하는 인공수정체이다.<sup>3</sup> 연속초점인공수정체를 사용했을 때의 임상결과에 대한 논문은 여러 개가 발표되었고, 원거리와 중간거리에서 좋은 결과를 보여주었으나,<sup>4,6</sup> 현재까지 국내에서 광학 벤치 실험(Optical bench test)을 활용하여 실제로 상이 어떻게 보이는지 등을 평가한 논문은 없다.

따라서 본 연구에서는 광학 벤치에 모델 눈(model eye)을 설치한 후 단초점, 이중 다초점, 연속초점인공수정체를 삽입하여 각각의 탈초점곡선(defocus curve)을 측정하고 이를 비교해보았다.

## 대상과 방법

### 인공수정체

단초점인공수정체(TECNIS® ZCB00, Abbott Medical Optics, Inc., Santa Ana, CA), 이중 다초점인공수정체(TECNIS® ZKB00, Abbott Medical Optics, Inc.)와 연속초점인공수정체(TECNIS® Symphony ZXR00, Abbott Medical Optics, Inc.)가 이 실험에 사용되었다. 인공수정체들의 A constant와 Refractive index는 동일하며 각 인공수정체들의 사양은 Table 1과 같다. 이중 다초점인공수정체의 덧댐 굴절력은 +2.75디옵터였다. 실험에 사용된 모든 인공수정체의 도수는 +20.00디옵터였다.

### Optical Bench System Measurement

Optical Bench system은 미 공군 1951 해상도 테스트 차트(1951 United States Air Force resolution test chart)와 인공동공(artificial pupil), trial lens, 모델 눈, Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) 카메라(DCC1240C; Thorlabs Inc., Newton, NJ, USA)로 이루어졌다. 해상도 테스트 차트를 비추는 조명으로는 초록색의 LED 조명이 사용되었으며, 인공 동공의 크기는 3.0 mm였다. 모델 눈의 wet cell은 N-BK7 (Optical borosilicate-crown glass)로 이루

Table 1. Intraocular lens specifications

Parameter	TECNIS ZCB00®	TECNIS ZXR00®	TECNIS ZKB00®
Type	Monofocal	Extended depth of focus	Diffraction, bifocal
Asphericity	Aspheric	Aspheric	Aspheric
A constant	118.8	118.8	118.8
Add power (IOL plane, diopters)	N/A	Extended depth of focus	+2.75
Refractive index	1.47	1.47	1.47

IOL = intraocular lens; NA = not applicable.

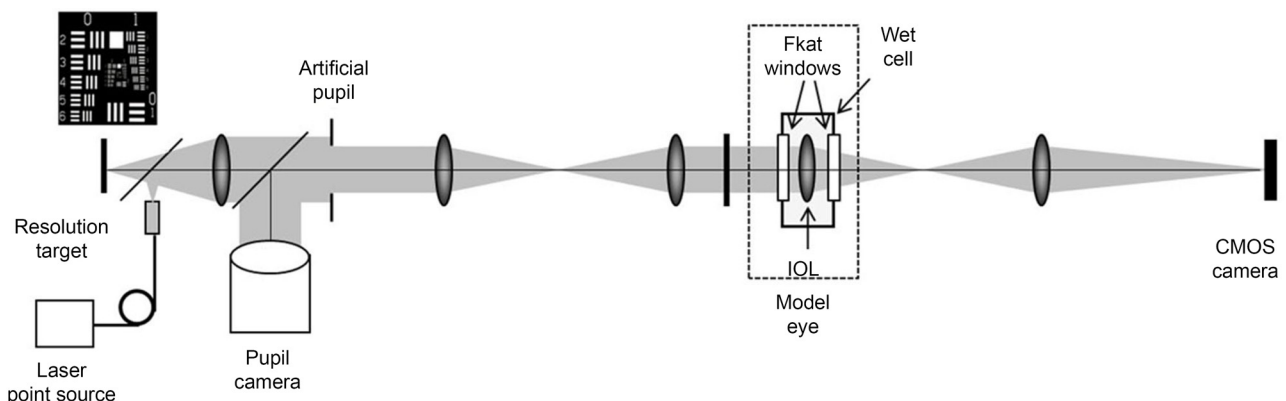


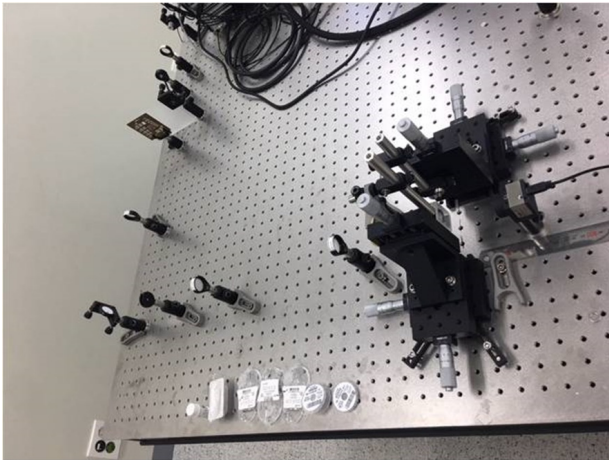
Figure 1. Schematic diagram of optical bench system. Optical bench system is composed of resolution target, artificial pupil, trial lens, model eye and complementary metal-oxide-semiconductor camera. IOL = intraocular lens; CMOS = complementary metal oxide semiconductor.

어진 수조로 앞, 뒷면을 평행하며, 생리 식염수로 채워졌다. 실험에 사용된 인공수정체는 비구면 렌즈용 어댑터(aspheric lens adapter)를 이용해서 안정적으로 고정시킨 후 wet cell에 담갔다. 기구들의 배열은 카메라와 모델 눈을 XYZ translation stage에 설치한 후, 이를 움직여 렌즈의 중심(centration)을 맞추고, 초점(focus)이 카메라의 센서에 맞도록 하였다.

배열이 맞는지 확인하기 위해 헬륨-네온 레이저(Helium-Neon Laser)를 사용해 확인하였다. Fig. 1은 optical bench system의 구조를 표현한 모식도이며, Fig. 2는 본 연구에 사용된 optical bench system의 모식도와 실제 사진이다.

#### Data analysis

단초점, 이중 다초점, 연속초점인공수정체를 각각 wet cell



**Figure 2.** Photo of optical bench system. Optical bench system is composed of resolution target, artificial pupil, trial lens, model eye and complementary metal-oxide-semiconductor camera.

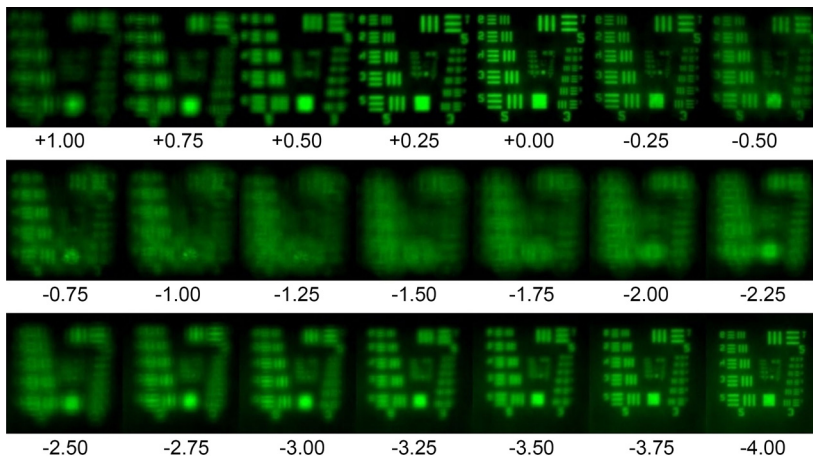
에 설치한 후에 +1.00디옵터부터 0.25디옵터의 간격으로 -4.00디옵터까지의 trial lens를 모델 눈 앞에 삽입한 후 미공군 1951 해상도 테스트 차트를 촬영하였다. 이 때, 마이너스 디옵터의 trial 렌즈 삽입은 근거리를 의미한다. +0.00디옵터의 이미지를 기준으로 하여, 이와 비슷한 정도를 정량화하는 교차-상관계수(cross-correlation coefficient)를 구했다.<sup>7</sup> 교차 상관계수는 일반적으로 임의의 두 이미지의 유사도를 정량화하는 데 많이 사용된다.<sup>8</sup> 크기가 다른 두 이미지  $f(x,y)$ 와  $t(x,y)$ 의 교차 상관계수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\rho(u,v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x,y) - \bar{f}_{u,v}][t(x-u,y-v) - \bar{t}]}{\{\sum_{x,y} [f(x,y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{x,y} [t(x-u,y-v) - \bar{t}]^2\}^{1/2}} \quad (1)$$

여기서  $\bar{f}$ 와  $\bar{f}_{u,v}$ 는 각 이미지의 평균값이다. 교차 상관계수를 구하는 연산은 두 이미지  $f$ 와  $t$ 를 픽셀끼리 곱하여 더하고 정규화한다. 교차-상관계수의 범위는 -1부터 +1까지이며, +1은 가장 좋은 질의 유사 이미지이고 감소할수록 이미지의 질이 떨어짐을 가리킨다.  $t$ 를 움직여가면서 교차 상관계수를 구하면 (1)과 같은 행렬을 얻을 수 있다. 이 행렬 중 peak 값은 한군데 존재하며 이 값이 최적의 교차 상관계수가 된다. 또한 이 때의  $u, v$  정보로부터 가장 좋은 질의 유사 이미지를 얻을 수 있다. MATLAB 소프트웨어(MathWorks; Natick, MA, USA)를 사용하였으며, 각 인공수정체의 교차-상관계수로 탈초점곡선을 그리고 이를 비교하였다.

## 결 과

이중 다초점인공수정체(TECNIS® ZKB00)는 +0.00디옵터에서의 깨끗한 상이 마이너스 디옵터가 더해질수록 흐려지다가 일정 지점에서 다시 상이 깨끗해지는 전형적인 이중 다초점인공수정체의 양상을 보였다(Fig. 3). 단초점인공



**Figure 3.** Captured images of 1951 United States Air Force resolution test chart using bifocal intraocular lens (TECNIS® ZKB00, Abbott Medical Optics, Inc., Santa Ana, CA, USA). Minus diopter represents near distance.

수정체(TECNIS® ZCB00, Abbott Medical Optics, Inc.)는 +0.00디옵터에서의 선명한 상이 마이너스 디옵터가 더해질 수록 점진적으로 더 흐려지는 결과를 보였다. 연속초점인공수정체(TECNIS® Symphony ZXR00, Abbott Medical Optics, Inc.)는 이중 다초점인공수정체와 달리 일정 디옵터에서 다시 상이 선명하게 변하지는 않았으나, 상이 깨끗하게 보이는 디옵터의 범위가 단초점에 비해 더 넓었다(Fig. 4).

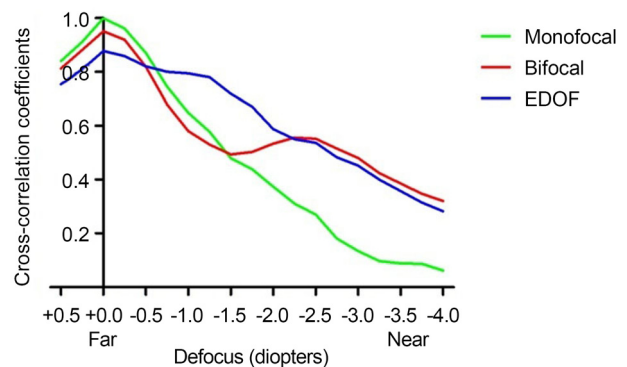
Fig. 5는 세 종류의 인공수정체를 이용하여 측정한 교차-상관계수를 도표화한 탈초점곡선이다. 이중 다초점인공수정체는 교차-상관계수가 +0.00디옵터에서 peak를 보이고 -1.50디옵터까지 교차-상관계수가 감소하다가 다시 증가하여 -2.25디옵터에서 한 번 더 peak를 보인 후, 다시 감소하는 쌍봉분포(double peak appearance)를 보였다. 단초점인공수정체는 +0.00디옵터에서 교차-상관계수가 peak를 보인 후 -4.00디옵터까지 계속해서 감소하였다. 연속초점인공수정체도 교차-상관계수가 +0.00디옵터에서 peak를 보인 후, -4.00디옵터까지 감소하며, 탈초점곡선에서 쌍봉분포를 보이지 않았다. 그러나 교차-상관계수가 0.7 이상인 디옵터의 범위가 +0.50디옵터부터 -1.50디옵터로, +0.50디옵터부터 -0.75디옵터까지인 단초점인공수정체에 비해 범위가 더 넓었다.

## 고 찰

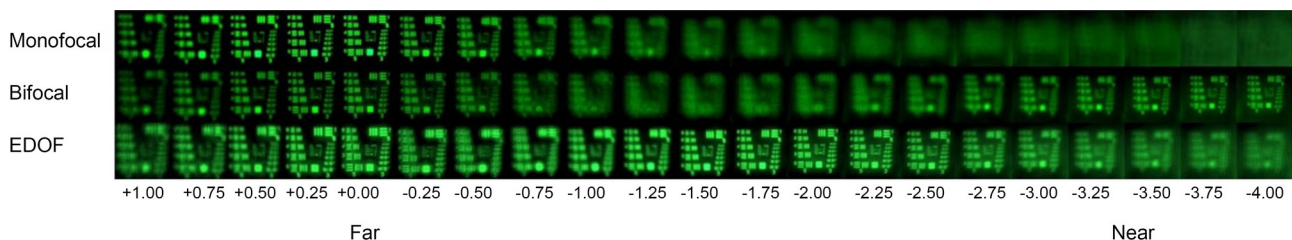
본 연구는 광학 벤치 실험을 통해 단초점, 이중 다초점인공수정체와 연속초점인공수정체의 탈초점곡선을 그려 비교해 보았다. 이중 다초점인공수정체는 탈초점곡선에서 쌍봉 분포를 보였으며, 이는 이전의 이중 다초점인공수정체에 관한 광학 벤치 실험 연구의 결과와 일치한다.<sup>9-11</sup>

연속초점인공수정체(TECNIS® Symphony ZXR00, Abbott Medical Optics, Inc.)를 활용한 이전의 광학 벤치 실험(Optical bench test) 연구에서는 대상에 대해 단초점, 이중 다초점, 연속초점인공수정체로 얻어지는 상의 질을 modulation transfer function (MTF)로 계산하고, 인공수정체로 대상을 보았

을 때 생길 수 있는 달무리를 point spread function (PSF)으로 계산하여 비교하였다.<sup>12</sup> 달무리는 연속초점인공수정체와 단초점인공수정체가 비슷한 값을 보였으며, MTF은 연속초점인공수정체가 단초점인공수정체보다 더 넓은 범위의 디옵터에서 높은 값을 보였으나, 근거리에서는 이중 다초점인공수정체에 비해 낮은 값을 보였다. 본 연구에서도 교차-상관계수가 이와 비슷한 경향을 보였다. 광학 벤치 실험을 이용한 연속초점인공수정체의 연구가 이미 존재하나, 본 연구는 국내의 연구진과 국내에서의 실험과 분석을 통해 단초점, 이중초점, 연속초점인공수정체의 탈초점곡선을 최초로 구했다는 점에서 의미가 있다. 또한, 광학 벤치 실험으로 계산된 이미지의 질과 수술 후 환자의 시력이 유의한 선형 관계를 보이는 이전 연구로<sup>13</sup> 미루어 볼 때, 광학 벤치 실험만으로도 수술 후의 시력을 어느 정도 예측할 수 있다는 점도 본 연구에 의미를 더한다.



**Figure 5.** Through-focus correlation coefficients of the three different intraocular lenses. Bifocal intraocular lens (TECNIS® ZKB00, Abbott Medical Optics, Inc., Santa Ana, CA, USA) showed double peak appearance but monofocal (TECNIS® ZCB00, Abbott Medical Optics, Inc.) and extended depth of focus showed single peak appearance. Extended depth of focus intraocular lens (TECNIS® Symphony ZXR00, Abbott Medical Optics, Inc.) had a wider range of diopters with a cross-correlation coefficient of 0.7 or greater than monofocal intraocular lens. EDOF = extended depth of focus.



**Figure 4.** Captured images of 1951 United States Air Force resolution test chart using monofocal (TECNIS® ZCB00, Abbott Medical Optics, Inc., Santa Ana, CA, USA), bifocal (TECNIS® ZKB00, Abbott Medical Optics, Inc.) and extended depth of focus intraocular lens (TECNIS® Symphony ZXR00, Abbott Medical Optics, Inc.). EDOF = extended depth of focus.



Ruiz-Mesa et al<sup>14</sup>은 양안에 삼중초점 인공수정체를 사용한 환자와 양안에 연속초점인공수정체를 사용한 환자들을 대상으로 수술 시행 1년 후의 나안 원거리 시력(uncorrected distance visual acuity, UDVA), 나안 중간거리 시력(uncorrected intermediate visual acuity, UIVA), 나안 근거리 시력(uncorrected near visual acuity, UNVA)을 측정하였으며, 연속초점인공수정체를 사용한 군은 UDVA  $0.01 \pm 0.02$  logMAR; UIVA  $0.09 \pm 0.08$  logMAR; UNVA  $0.17 \pm 0.06$  logMAR로 모든 거리에서 좋은 시력을 보였다. Kaymak et al<sup>15</sup>은 양안에 연속초점인공수정체를 사용한 환자들을 대상으로 수술 시행 3개월 후의 시력을 측정했으며, UDVA  $-0.05 \pm 0.11$  logMAR; UIVA  $0.09 \pm 0.02$  logMAR; UNVA  $0.19 \pm 0.09$  logMAR로 원거리와 중간거리에서 좋은 시력을 보였다. Attia et al<sup>6</sup>도 연속초점인공수정체를 사용한 30안을 분석하였으며, UDVA 0.03 logMAR; UIVA  $-0.03$  logMAR; UNVA 0.20 logMAR로 원거리와 중간거리에서 근거리보다 더 좋은 시력을 보였다. Pedrotti et al<sup>16</sup>은 백내장수술 후 모든 거리에서 연속초점인공수정체가 단초점인공수정체에 비해 더 좋은 시력을 보였다고 하였다. 이는 연속초점인공수정체가 단초점에 비해 선명도가 높은 초점의 범위가 넓었던 본 연구의 결과와도 부합하는 바이다.

Gatinel and Loicq<sup>17</sup>은 본 연구에 사용된 연속초점인공수정체(TECNIS® Symphony ZXR00, Abbott Medical Optics, Inc.)와 이중 다초점, 삼중 다초점인공수정체의 MTF를 계산하여 비교하였다. 동공의 크기가 2 mm일 때는 본 연구와 마찬가지로 연속초점인공수정체가 하나의 넓은 MTF peak를 보였지만, 동공의 크기가 3 mm, 3.75 mm일 때는 이중 다초점인공수정체와 비슷하게 두 개의 구분되는 MTF peak를 보여 본 연구의 결과와 차이점이 있다. 이는 핀홀 효과에 의해 동공이 작아질수록 인접한 MTF peak가 겹쳐지고 합쳐져 하나의 넓은 MTF peak가 만들어지지만, 동공이 커지면 핀홀 효과가 줄어들어 발생하는 차이점으로 생각된다. 동공의 크기를 3 mm로 고정하여 탈초점곡선을 그린 본 연구와 타 연구에서는<sup>11</sup> 연속초점인공수정체가 하나의 넓은 MTF peak를 보였지만, 앞으로 동공의 크기를 조정하여 이에 따른 탈초점곡선의 변화를 관찰하는 연구를 시행하면 본 연구의 결과를 더 보완할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 임상 의사에게 환자가 연속초점인공수정체를 사용했을 때 어떻게 보이는지를 이해하는 데에 도움을 줄 수 있다. 하지만 실험에 사용된 시표가 단순하여, 환자들이 일상 생활에서 보는 여러 가지의 사물들에 대해 어떻게 보이는지 예측하기 어렵다. 또한 실험을 통해 얻어진 결과와 탈초점곡선 등을 환자들은 쉽게 이해하고 받아들이기 어렵다는 점 또한 본 연구의 한계점으로 볼 수 있다. 이를 해결

하기 위해서 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다. 결론적으로, 이중 다초점인공수정체는 원거리와 근거리에서 이중 다초점을 보임을 실험적으로 확인할 수 있었으며, 연속초점인공수정체는 이중 다초점을 보이지 않지만 단초점인공수정체에 비해 더 넓은 범위의 초점에서 선명한 상을 제공할 수 있었다.

## REFERENCES

- 1) Maxwell WA, Cionni RJ, Lehmann RP, Modi SS. Functional outcomes after bilateral implantation of apodized diffractive aspheric acrylic intraocular lenses with a +3.0 or +4.0 diopter addition power Randomized multicenter clinical study. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:2054-61.
- 2) de Vries NE, Webers CA, Touwslager WR, et al. Dissatisfaction after implantation of multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:859-65.
- 3) Weeber HA, Meijer ST, Piers PA. Extending the range of vision using diffractive intraocular lens technology. *J Cataract Refract Surg* 2015;41:2746-54.
- 4) Kohnen T, Böhm M, Hemkepler E, et al. Visual performance of an extended depth of focus intraocular lens for treatment selection. *Eye (Lond)* 2019;33:1556-63.
- 5) Cochener B; Concerto Study Group. Clinical outcomes of a new extended range of vision intraocular lens: International Multicenter Concerto Study. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:1268-75.
- 6) Attia MSA, Auffarth GU, Kretz FTA, et al. Clinical evaluation of an extended depth of focus intraocular lens with the salzburg reading desk. *J Refract Surg* 2017;33:664-9.
- 7) Kim MJ, Zheleznyak L, Macrae S, et al. Objective evaluation of through-focus optical performance of presbyopia-correcting intraocular lenses using an optical bench system. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1305-12.
- 8) Hwang HS, Lee CS. Analysis of autofocus evaluation functions of intraocular lens. *J Inst Contr Robot Syst* 2017;23:758-63.
- 9) Carson D, Hill WE, Hong X, Karakelle M. Optical bench performance of AcrySof(R) IQ ReSTOR(R), AT LISA(R) tri, and FineVision(R) intraocular lenses. *Clin Ophthalmol* 2014;8:2105-13.
- 10) Gatinel D, Houbrechts Y. Comparison of bifocal and trifocal diffractive and refractive intraocular lenses using an optical bench. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1093-9.
- 11) Montés-Micó R, Madrid-Costa D, Ruiz-Alcocer J, et al. In vitro optical quality differences between multifocal apodized diffractive intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:928-36.
- 12) Yoo YS, Whang WJ, Byun YS, et al. Through-focus optical bench performance of extended depth-of-focus and bifocal intraocular lenses compared to a monofocal lens. *J Refract Surg* 2018;34:236-43.
- 13) Plaza-Puche AB, Alió JL, MacRae S, et al. Correlating optical bench performance with clinical defocus curves in varifocal and trifocal intraocular lenses. *J Refract Surg* 2015;31:300-7.
- 14) Ruiz-Mesa R, Abengózar-Vela A, Aramburu A, Ruiz-Santos M. Comparison of visual outcomes after bilateral implantation of extended range of vision and trifocal intraocular lenses. *Eur J Ophthalmol* 2017;27:460-5.
- 15) Kaymak H, Hohn F, Breyer DR, et al. Functional results 3 months

after implantation of an “extended range of vision” intraocular lens. Klin Monbl Augenheilkd 2016;233:923-7.

16) Pedrotti E, Bruni E, Bonacci E, et al. Comparative analysis of the clinical outcomes with a monofocal and an extended range of vi-

sion intraocular lens. J Refract Surg 2016;32:436-42.

17) Gatineau D, Loicq J. Clinically relevant optical properties of bifocal, trifocal and extended depth of focus intraocular lenses. J Refract Surg 2016;32:273-80.

---

= 국문초록 =

## 광학벤치 실험을 통한 단초점, 다초점, 연속초점인공수정체의 탈초점곡선 측정

**목적:** 광학 벤치 실험을 통해 단초점, 이중 다초점, 연속초점(extended depth of focus) 인공수정체를 비교하고 탈초점곡선을 측정하였다.

**대상과 방법:** 광학 벤치의 모델 눈에 세 종류의 인공수정체(TECNIS ZXR00, TECNIS ZMB00, ZCB00; Abbott Medical Optics, Inc., Santa Ana, CA, USA)를 각각 삽입한 후, Trial set에 +1.00부터 -4.00디옵터까지의 렌즈를 +0.25디옵터 단위로 삽입하여 대상을 촬영하여 얻은 상의 변화 양상을 관찰하였다. 기준 이미지(trial set에 렌즈를 삽입하지 않고 촬영한 이미지)와 비슷한 정도를 교차-상관계수로 정량화하여 비교하였다.

**결과:** 이중 다초점인공수정체는 마이너스 디옵터가 더해질수록 상이 흐려지다가 근거리에서 상이 깨끗해지고, 탈초점곡선에서도 쌍봉 분포(double peak appearance)를 보였다. 단초점인공수정체는 마이너스 디옵터가 더해질수록 상이 흐려지며 교차-상관계수도 감소하였다. 연속초점인공수정체는 쌍봉분포를 보이지 않았으나, 깨끗한 상을 보이고 높은 교차-상관계수를 보이는 디옵터의 범위가 단초점인공수정체에 비해 넓었다.

**결론:** 이중 다초점인공수정체는 촬영을 통해 얻어진 상과 탈초점곡선에서 전형적인 이중 초점의 양상을 보였으며, 단초점인공수정체는 마이너스 디옵터가 더해질수록 상이 흐려졌다. 연속초점인공수정체는 이중 초점의 양상을 보이지 않았으나, 단초점인공수정체에 비해 더 넓은 범위의 디옵터에서 깨끗한 상을 보였다.

〈대한안과학회지 2020;61(2):153-158〉

---

구용호 / Yong Ho Koo

한림대학교 의과대학 춘천성심병원 안과학교실  
Department of Ophthalmology,  
Chuncheon Sacred Heart Hospital,  
Hallym University College of Medicine

