

## 두 종류 비구면 인공수정체 삽입 후 Double-pass 원리를 이용한 시력의 질 비교

곽애영<sup>1,2</sup> · 최문정<sup>1</sup> · 서경률<sup>1</sup> · 안지민<sup>2</sup>

연세대학교 의과대학 안과학교실, 시기능개발연구소<sup>1</sup>, 실로암 안과병원<sup>2</sup>

**목적:** 두 종류의 일체형 비구면 인공수정체를 삽입한 백내장 수술 환자를 대상으로 Double pass 원리를 적용한 분석기를 이용하여 임상결과를 비교하고자 하였다.

**대상과 방법:** 본원에서 2009년 10월에서 2011년 2월까지 백내장 수술을 시행 받은 25안의 Tecnis<sup>®</sup> ZCB00 (AMO, Inc., Santa Ana, CA, USA) 삽입 군과 16안의 Acrysof<sup>®</sup> IQ SN60WF (Alcon, Inc., Fort Worth, TX, USA) 삽입 군을 대상으로 술 후 6개월째 나안시력 및 최대교정시력, 구면 대응치를 측정하고 Double pass 원리를 적용한 Optical quality analysis system (OQAS, Visiometrics SL, Spain)을 이용하여 변조전달기능(MTF cutoff), Strehl 비율(Strehl ratio), 객관적 산란지수(OSI) 값을 측정하고 차이를 비교해 보았다.

**결과:** ZCB00 삽입 군과 SN60WF삽입 군에서의 수술 후 나안시력, 최대교정시력, 구면 대응치, Double pass 이미지 분석에 따른 객관적 산란지수( $1.60 \pm 0.70$  vs  $2.76 \pm 2.33$ ,  $p=0.27$ ) 값은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면, 두 군 간의 Double pass 이미지 분석에 따른 변조전달기능( $28.0 \pm 7.79$  vs  $20.4 \pm 9.51$  c/deg,  $p=0.025$ )과 Strehl 비율( $0.14 \pm 0.04$  vs  $0.12 \pm 0.05$ ,  $p=0.042$ )은 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

**결론:** 백내장 수술시 삽입되는 렌즈의 종류 및 특성에 따라 수술 후 환자의 시력의 질에 영향을 미치는 것으로 생각되며, OQAS는 백내장 수술 후 단순 시력측정으로는 설명이 어려운 실제 망막에 맺히는 상의 질에 대한 보다 객관적인 지표를 제공해주어 진료에 도움이 될 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2013;54(12):1818-1823〉

최근의 백내장 수술은 단순한 시력교정 뿐 아니라 기능적 시력의 향상을 중요한 목표로 하고 있으며 이를 위해 수술 기법을 비롯한 인공수정체의 발전을 이룩해 왔다.<sup>1</sup> 노화에 따라 수정체의 굴절률 및 구면수차가 증가하면 눈부심, 빛번짐 증가 등의 증상이 발생하여 시력의 질적 저하를 가져오게 된다. 최근에는 비구면 인공수정체의 개발로 백내장 수술 후 구면수차 값을 교정하여 안구전체의 수차를 줄임으로써 시기능을 향상시킬 수 있게 되었다.<sup>2-4</sup>

현재 널리 쓰이는 일체형 인공수정체인 Tecnis<sup>®</sup> ZCB00 (AMO, Inc., Santa Ana, CA, USA)와 Acrysof<sup>®</sup> IQ SN60WF (Alcon, Inc., Fort Worth, TX, USA)는 모두 비구면 인공수정체로 소수성 아크릴 재질이며 광학부의 길이 및 지지부 포함한 전체길이가 같은 공통점을 가지고 있다. TECNIS<sup>®</sup> ZCB00은 전면 비구면 표면에 후낭혼탁을 줄이고자 광학부

모서리의 후면을 360도 squared edge로 구성하였으며  $-0.27 \mu\text{m}$ 의 구면수차를 가지는 반면, Acrysof<sup>®</sup> IQ SN60WF은 후면 비구면의 표면을 가지며  $-0.20 \mu\text{m}$ 의 구면수차를 가진다(Table 1).

한편 가장 널리 사용되는 수차계(aberrometer)인 Hartmann-Shack wavefront analyzing device는 안구 매체를 통과한 다양한 지점의 파장이 황반부에서 반사되는 빛이 편위되는 정도를 여러 개의 고체촬영소자(charge coupled device, CCD)로 인식해 수차를 분석한다.<sup>5</sup> 이에 비해 Double pass를 이용한 Optical quality analysis system (OQAS, Visiometrics SL, Spain)은 망막에 광원이 투사되어 맺힌 상뿐만 아니라 망막으로부터 반사되어 안구 전체의 매체를 거쳐서 나온 파장을 이용한 second pass 과정을 거쳐 수차를 분석한다. Double pass 체계의 원리를 살펴보면, 780 nm laser diode를 사용한 광원이 광선분산기(beam splitter, BS)에서 반사된 다음 2개의 색수차 보정 접합렌즈(achromatic doublet lens; L2, L3)와 2개의 거울이 붙어있는 움직이는 초점교정기(focus corrector, FC)를 거치게 된다. 초점교정기에서 렌즈 2와 3 사이의 시각경로를 조절함으로써 구면굴절이 일어나게 되고 망막에 PSF 상이 맺히게 되는데 이것이 Single pass의 과정이다. Double pass는 이처럼 상이 맺힌

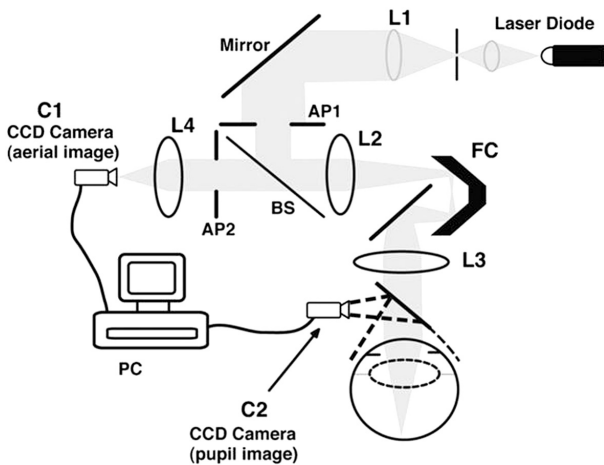
■ Received: 2013. 1. 18.      ■ Revised: 2013. 5. 7.

■ Accepted: 2013. 10. 1.

■ Address reprint requests to Ji Min Ahn, MD  
Siloam Eye Hospital, #181 Deungchon-ro, Gangseo-gu, Seoul  
157-836, Korea  
Tel: 82-2-2650-0700, Fax: 82-2-2650-0725  
E-mail: 24mini@naver.com

**Table 1.** Characteristics of the 2 aspheric intraocular lenses used in the study

Characteristics	TECNIS® ZCB00	Acrysof® IQ SN60WF
Lens	1-piece	1-piece
Optic type	Monofocal	Monofocal
Optical material	Hydrophobic acrylic	Hydrophobic acrylic
Refractive index	1.47	1.55
Optic size (mm)	6	6
Overall length (mm)	13	13
Haptic material	Hydrophobic acrylic	Hydrophobic acrylic
Haptic angulation	0	0
Design	Biconvex anterior aspheric and posterior square edge	Prolate posterior surface
Blue-light filtering	No	Yes
Spherical aberration	-0.27	-0.20



**Figure 1.** Experimental diagram of the double-pass system. (AP1 = artificial pupil 1; AP2 = artificial pupil 2; BS = beam splitter; C1 = camera 1; C2 = camera 2; CCD = charge-coupled device; L1, L2, L3, L4, and L5 = lenses 1, 2, 3, 4, 5; FC = focus corrector; BS = beam splitter; PC = personal computer).

망막에서부터 CCD 카메라까지 빛이 반사되는 과정인데, 망막에서 반사된 빛은 앞서 말한 2개의 접합렌즈와 광선분산기를 다시 한 번 거치며 이때, 빛의 50% 정도가 소실된다. 광선분산기를 통과한 빛은 Diaphragm wheel을 통해 크기가 조절 가능한 exit pupil 장치(Artificial pupil, AP2)를 통해 나오게 되며 CCD 카메라에 객관적인 PSF (point spread function) 상(image)으로 기록된다(Fig. 1). 이로써 실제 망막에 맺힌 상에 보다 가깝게 구현하고자 하는 방식으로 망막에서 반사된 모든 파장의 빛을 인식하므로 빛의 산란(light scattering)이나 고위수차(high-order aberration)의 영향을 반영할 수 있다.<sup>6</sup>

본 연구는 두 종류의 일체형 비구면 인공수정체를 삽입한 백내장 수술 환자를 대상으로 Double pass 원리를 적용한 OQAS분석기를 이용하여 시력의 질을 객관적으로 정량화한 임상지표로 변조전달기능(modulation transfer func-

tion, MTF), Strehl 비율(Strehl ratio), 객관적 산란지수(objective scattering index, OSI) 값을 측정하고 차이를 비교하고자 하였다.

## 대상과 방법

2009년 10월에서 2010년 2월까지 백내장 초음파유화술 및 인공수정체 안내삽입술을 시행 받은 환자 중 25명(25안)의 Tecnis® ZCB00 (AMO, Inc., Santa Ana, CA, USA) 삽입 군과 16명(16안)의 Acrysof® IQ SN60WF (Alcon, Inc., Fort Worth, TX, USA) 삽입 군을 대상으로 연구를 시행하였다. 각막난시 1.5D를 넘지 않는 노인성백내장 환자를 대상으로 하였으며 각막혼탁, 약시, 녹내장, 망막질환 등 눈에 다른 질환을 가진 사람과 이전에 굴절교정수술을 받은 사람 및 수술과정에서 후낭파열 등의 합병증이 발생한 경우는 연구대상에서 제외되었다. 수술은 단일 술자에 의해 시행되었으며 점안마취 후 각막절개도로 투명각막절개를 시행한 후 점탄 물질을 전방에 주입하고 26 gauge 바늘을 이용하여 원형전낭절개를 시행하였다. 평형염액을 사용하여 수력분리술과 수력분층술을 시행한 후 초음파유화기로 수정체유화술을 시행하고 인공수정체를 수정체낭 내에 삽입하였다. 남아있던 점탄물질을 관류흡입기로 제거하고 평형염액을 사용하여 안구의 긴장도를 유지하는 하였으며 투명각막절개는 기질수화를 시행하였고 봉합은 시행하지 않았다. 모든 환자는 술 후 6개월째 원거리 나안시력과 현성굴절검사로 구면대응치(spherical equivalent, SE) 및 최대교정시력을 측정하였으며 double-pass의 원리를 적용한 Optical quality analysis system (OQAS, Visiometrics SL, Spain)을 이용하여 변조전달기능(modulation transfer function, MTF), Strehl 비율(Strehl ratio), 객관적 산란지수(objective scattering index, OSI) 값을 측정하였다. 모든 환자에서 exit 동공크기는 4 mm로 설정한 후 임상지표를 측정하였다.

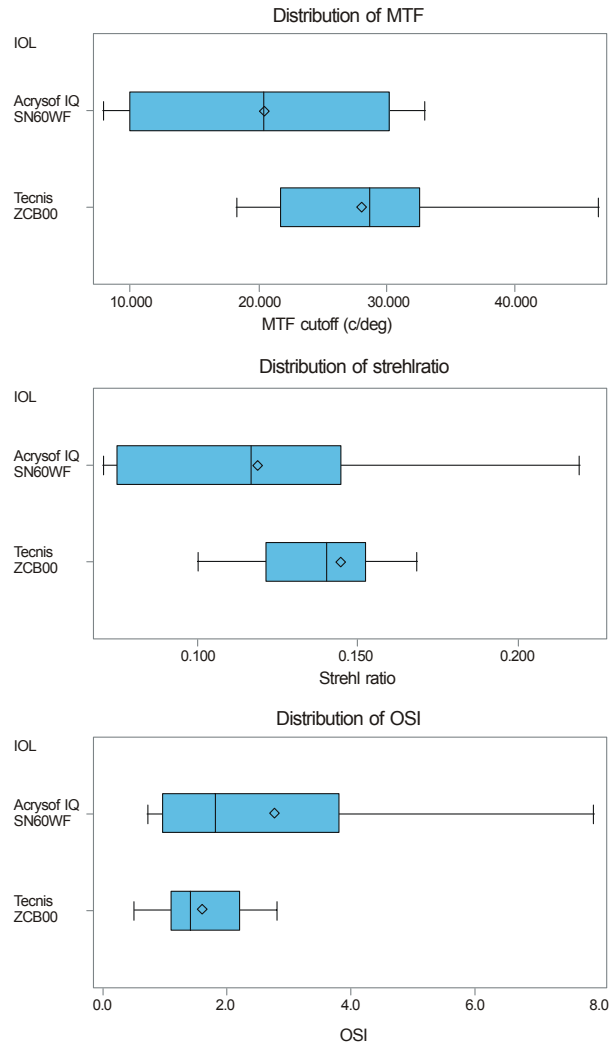
통계분석은 통계프로그램 SPSS 18.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL)를 사용하였으며, 통계학적 유의성의 기준은  $p < 0.05$ 로 하였다. 두 군간의 수술 후 지표 값을 비교하기 위해 Mann-Whitney  $U$  검정을 이용하였다.

## 결 과

총 41명의 41안을 대상으로 하였으며 Tecnis® ZCB00를 삽입한 25명 25안 중 남자가 10명(40%), 여자가 15명(60%)였고, Acrysof® IQ SN60WF를 삽입한 16명 16안 중 남자가 7명(43.8%), 여자가 9명(56.2%)이었다. Tecnis® ZCB00를 삽입한 25명의 평균 연령은  $69.9 \pm 10.1$ 세였으며 Acrysof® IQ SN60WF를 삽입한 16명의 평균 연령은  $67.0 \pm 8.3$ 세로 양 군 간 유의한 차이가 없었다( $p=0.118$ ) (Table 2).

수술 후 6개월째 측정된 나안시력( $p=0.89$ ), 최대교정시력( $p=0.56$ ), 구면대응치( $p=0.68$ )는 양 군에서 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3). 수술 후 6개월째 OQAS로 측정된 double pass 이미지 분석에 따른 변조전달기능(MTF cutoff)은 Tecnis® ZCB00 군에서  $28.01 \pm 7.79$  c/deg, Acrysof® IQ SN60WF 군에서  $20.41 \pm 9.51$  c/deg로 두 군간에 통계적으로 유의한 차이를 보였고( $p=0.03$ ), Strehl 비율은 각각  $0.14 \pm 0.04$ ,  $0.12 \pm 0.05$ 로 측정되어 역시 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.04$ ).

반면 double pass 이미지 분석에 따른 객관적 산란지수(OSI) 값은 Tecnis® ZCB00 군에서  $1.60 \pm 0.70$ , Acrysof® IQ SN60WF 군에서  $2.76 \pm 2.33$ 로 측정되어 두 군간에 유의한 차이가 없었다( $p=0.27$ ) (Fig. 2).



**Figure 2.** Comparison of MTF cutoff, Strehl ratio, OSI between the 2 groups measured using OQAS 6 months after operation. MTF = modulation transfer function; OSI = objective scattering index; IOL = intraocular lens.

**Table 2.** Demographics of study groups

	IOL groups	
	TECNIS® ZCB00	Acrysof® IQ SN60WF
Number of eyes	25	16
Sex (male:female)	10:15	7:9
Mean age (years)	$69.9 \pm 10.1$	$67.0 \pm 8.3$
OD:OS	12:13	5:11

Values are presented as mean  $\pm$  SD.

**Table 3.** Visual acuity and refractive errors of the 2 groups 6 months after operation

	TECNIS® ZCB00	Acrysof® IQ SN60WF	$p$ -value*
UCVA (log MAR)	$0.12 \pm 0.21$	$0.12 \pm 0.15$	0.89
BCVA (log MAR)	$0.06 \pm 0.21$	$0.06 \pm 0.10$	0.56
Refractive error (SE)	$-0.22 \pm 0.43$	$-0.57 \pm 1.03$	0.68

Values are presented as mean  $\pm$  SD.

UCVA = uncorrected visual acuity; BCVA = best corrected visual acuity; SE = spherical equivalent.

\*Mann-Whitney test,  $p < 0.05$ .

## 고 찰

비구면인공수정체를 이용한 백내장 수술 후 효과를 확인하기 위해 임상지표를 측정할 때 동공크기 또한 고려해야 하는데, 동공크기가 줄어들수록 안구 구면수차가 줄어드는 경향이 있다.<sup>7</sup>

본 연구에 사용된 OQAS는 기존의 double-pass analyzing device와는 달리 entrance 동공크기를 2 mm로 고정되어있고 exit 동공크기를 Diaphragm wheel을 이용하여 2 mm에서 7 mm까지 조절 가능함으로써 대칭(symmetric) 수차와 함께 코마 수차 등과 같은 비대칭(asymmetric) 수차를 모두 감지할 수 있다.<sup>8</sup> 본 연구에서는 모든 환자에서 exit 동공크기를 4 mm로 설정한 후 임상지표를 측정하였다.

또한 기존의 wavefront aberrometer의 경우는 산란(scattering)을 측정하지 못해 안구체계 각 부분의 굴절력의 차이로 인해 발생하는 광학 수차에 의한 PSF를 이론적으로 계산한 값으로만 제시하게 되는 반면 OQAS는 double-pass 상으로부터 얻은 PSF (Measured PSF)로부터 직접 Fourier 변환을 통해 변조전달기능(modulation transfer function, MTF) 값을 계산하며 여기에는 수차 뿐만 아니라 산란의 영향이 반영된다.

변조전달기능(MTF)은 객관적인 시기능을 평가하는데 우수한 재현성을 가지는 지표로 알려졌는데 각 공간주파수에 따른 망막에 맺힌 상의 대비감도(contrast sensitivity)가 소실되는 정도와 관련이 있다.<sup>9</sup> 본 연구에서는 IOL 삽입 후의 시력의 질을 정량화하기 위해 OQAS에서 제공하는 MTF cutoff 주파수, Strehl 비율, 객관적 산란지수(objective scattering index, OSI)값을 비교지표로 설정하였다.<sup>9</sup>

OQAS에서는 MTF 값이 1% 유효치에 도달했을 때의 공간 주파수 값을 의미하는 MTF cutoff 주파수를 제공하는데, 이는 Double-pass 기계에 의해 PSF 상이 기록될 때 고체촬영소자 카메라나 주변부의 고주파수 잡음이 존재하므로 정확한 MTF를 계산하는데 한계를 가지는 것과 관련이 있다. MTF cutoff 값이 클수록 시력의 질이 좋다고 할 수 있으며 수차와 회절이 낮은 이상적인 환경에서 인간의 눈이 감지할 수 있는 최대 공간주파수 값은 60 cpd (cycles per degree)에 가깝다.<sup>10</sup>

Strehl 비율은 수차가 없는 이상적인 안구에 대한 측정안의 변조전달기능 그래프곡선 아랫부분의 넓이의 비율을 의미하는데 시력의 질을 양적으로 측정한 것이다. 0에서 1사이의 값을 가지는데 정상 성인에서 4 mm exit 동공크기로 측정하였을 때 평균 0.3에 가까운 값을 가지며, 1에 가까울수록 시기능이 더 좋은 것으로 볼 수 있다.<sup>11</sup> 객관적 산란지수(objective scattering index, OSI)는 double-pass 이미

지 중심부 peak의 빛의 분포강도와 주변부 빛의 분포간의 비율로써 안구 내 산란(intraocular scattering)의 정도를 수치화한 값이다. OQAS에서 OSI는 0 에서부터 25.0까지의 값으로 나타나며, 젊고 건강한 정상안에서는 1.0 이하의 값을 가지고, 경도, 중등도 백내장에서 1.5에서 4.0 사이의 값을 나타내며, 5.0 이상의 값을 보이는 경우 산란이 심함을 확인할 수 있다.<sup>10</sup> 실제 망막에 맺히는 상에는 안구 내 수차뿐만 아니라 안구 내 산란 값이 영향을 미치게 된다.<sup>8,12</sup> 안구 내 수차가 상(image) 중심부의 빛의 분포에 영향을 주는 반면 안구내 산란은 주변부 빛의 분포에 영향을 미쳐 달무리 현상을 일으킬 수 있다.<sup>13</sup> 즉, 비슷한 시력일 지라도 안구 내 산란이 있는 경우는 실제 망막에 맺히는 상의 질은 떨어지게 된다. 본 연구의 결과에서 확인된 Strehl 비율, 객관적 산란지수의 경우 앞서 제시한 젊은 성인의 정상치 보다는 다소 떨어지는 값을 보이는데 환자군의 평균연령이 각각  $67.0 \pm 8.3$ ,  $69.9 \pm 10.1$ 세임을 고려해야 할 것으로 생각한다.

본 연구에서는 안구 내 산란의 경우에는 두 군에 유의한 차이를 보이지 않았으나 변조전달기능과 Strehl 비율에서는 두 군간에 유의한 차이를 보였는데 이 같은 결과에 대해 구면수차에 의한 영향을 고려해 볼 수 있겠다.

나이가 들수록 시력의 질이 저하되는 것에 대해 구면수차 증가를 큰 요인으로 들 수 있다. 백내장 수술에 있어 비구면 인공수정체를 사용하면 구면 인공수정체를 사용시 발생할 수 있는 구면수차의 증가를 감소시켜 눈부심이나 대비감도저하 등의 문제점이 개선될 수 있음이 많은 연구를 통해 알려졌다.<sup>2-4,14</sup>

Beiko et al<sup>15</sup>은 6 mm 동공에서 각막 구면수차의 평균은  $+0.274 \pm 0.089 \mu\text{m}$ 으로 보고한 바 있다. 본 연구에 사용된 인공수정체는 모두 비구면이며 Acrysof® IQ SN60WF의 구면수차가  $-0.20 \mu\text{m}$ 의 값을 갖는데 비해 Tecnis® ZCB00은 구면수차가  $-0.27 \mu\text{m}$ 로 비교적 더 많은 양의 각막 구면수차를 교정하는 것을 목표로 한다고 볼 수 있다. 물론 수술 후 이상적인 구면수차 값에 대해서는 아직 의견이 분분하고 본 연구에서 직접 두 군에서 구면수차를 측정하지는 않았으나 두군간의 변조전달 기능과 Strehl 비율의 차이에 대해 양의 구면수차에 의한 영향을 생각해 볼 수 있겠다.

본 연구에 쓰인 Tecnis® ZCB00과 같은  $-0.27 \mu\text{m}$ 의 구면수차를 가진 Tecnis® ZA9003과 Acrysof® IQ SN60WF 인공수정체를 삽입한 환자들을 대상으로 수술 후 구면수차를 측정하여 비교한 결과 Tecnis® ZA9003 삽입군의 구면수차가 유의하게 낮게 측정됨이 보고된바 있다.<sup>16-18</sup> 이러한 차이가 명백하지는 않지만 다소 시력의 질에 반영이 될 가

능성이 있음을 OQAS에서 측정된 MTF cutoff 주파수와 Strehl 비율 등의 차이를 통해 유추해 볼 수 있겠다.

또한 Salvatore et al<sup>19</sup>은 앞면 비구면 디자인의 Tecnis<sup>®</sup> ZCB00는 후면 비구면의 Acrysof<sup>®</sup> IQ SN60WF에 비해 조도가 낮은 경우에 높은 공간 주파수 영역에서 더 좋은 대비감도를 가짐을 보고한바 있다. 높은 공간 주파수 영역은 실내와 같은 환경에서 대비감도가 낮은 편인 사람얼굴 알아보기와 같은 일상생활에서 시력의 질을 결정하는 중요한 인지 영역이다.

하지만 본 연구는 2개의 인공수정체 군을 대표하여 시기능을 평가하기에는 다소 적은 인원을 대상으로 했다는 제한점을 가지고 있으며 구면수차는 인공수정체의 특성 외에도 각막굴절률, 전방깊이 등에 의해서도 달라지므로 이러한 임상적 지표들과의 관련성 또한 앞으로의 연구에서 추가적으로 확인해야 할 것으로 생각한다.<sup>20,21</sup> 또한 OQAS로 측정된 시력의 질 지표들과 contrast sensitivity 등 일반적으로 시력의 질을 평가할 때 제시하는 수치에 대한 비교가 이루어지지 못하고, 환자의 주관적 소견과의 관련성에 대한 평가가 이루어지지 못한 한계가 있어 추가적인 연구가 필요하다.

게다가 본 연구에 사용된 인공수정체는 둘 다 비구면 인공수정체로서 거의 비슷한 정도로 구면 인공수정체에 비해 구면수차를 훨씬 더 많이 교정할 수 있으며, 구면수차의 왜곡이 없는 변조전달기능 값을 얻게 되어 조도가 낮은 환경에서도 대비감도가 높아지는 장점을 가진다.<sup>22</sup>

수술 후 구면수차 및 초점심도는 인공수정체의 비구면도(asphericity)에 영향을 받지만 인공수정체의 종류나 특성에 의해 전적으로 좌우되기 보다는 안구의 잔여 구면수차와도 관계가 있으므로 비구면 인공수정체를 선택함에 있어 확실적인 기준을 제시할 수는 없으며 각막수차 등의 개인차를 참고하는 것이 바람직할 것으로 생각한다.

백내장수술 후 광학수차를 측정하는데 여러 방식의 수차계가 존재하지만 임상적으로 안구내 산란을 반영할 수 있는 것은 double pass를 이용한 OQAS가 거의 유일한 장비라고 볼 수 있다. 앞서 말한 대로 빛이 안구를 통과하여 망막에 상이 맺히는 과정과 반사되어 매체를 거쳐서 나오는 두 번의 과정을 거쳐온 PSF 상을 직접 얻어 빛의 산란 및 고위수차를 반영할 수 있기에 백내장수술 후 단순 시력측정으로는 설명이 어려운 실제 망막에 맺히는 상의 질에 대한 지표를 보다 객관적으로 제시할 수 있어 유용할 것으로 생각한다.

또한 이번 연구에서는 확인해보지 못하였지만 추후 OQAS를 활용한 연구를 통해 전향적으로 백내장 수술 전, 후 환자검사를 통해 환자의 실제 시력의 질의 향상도를 측

정할 수 있으며, 수술 후 시력은 좋지만 불편감을 호소하는 환자에 대한 원인 분석하는데 비교적 객관적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각되고, 기존에 Hartmann-Shack wavefront 수차계를 이용하여 측정한 대비감도와와의 비교 및 환자의 주관적 시력의 질과의 비교에 유용할 것으로 생각한다.

## REFERENCES

- 1) Werner L, Olson RJ, Mamalis N. New technology IOL optics. *Ophthalmol Clin North Am* 2006;19:469-83.
- 2) Tzelikis PF, Akaishi L, Trindade FC, Boteon JE. Spherical aberration and contrast sensitivity in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses: a comparative study. *Am J Ophthalmology* 2008;145:827-33.
- 3) Kim SW, Ahn H, Kim EK, Kim TI. Comparison of higher order aberrations in eyes with aspherical or spherical intraocular lenses. *Eye (Lond)* 2008;22:1493-8.
- 4) Bae HW, Kim EK, Kim TI. Spherical aberration, contrast sensitivity and depth of focus with three aspherical intraocular lenses. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:1639-44.
- 5) Park SJ, Wee WR, Lee JH, Kim MK. Comparison of wavescan aberrometer refraction to subjective manifest refraction and autorefractor. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:684-90.
- 6) Vilaseca M, Arjona M, Pujol J, et al. Optical quality of foldable monofocal intraocular lenses before and after injection: Comparative evaluation using a double-pass system. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1415-23.
- 7) Eom Y, Yoo E, Kang SY, et al. Change in efficiency of aspheric intraocular lenses based on pupil diameter. *Am J Ophthalmol* 2013; 155:492-8.e2.
- 8) Díaz-Doutón F, Benito A, Pujol J, et al. Comparison of the retinal image quality with a Hartmann-Shack wavefront sensor and a double-pass instrument. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:1710-6.
- 9) Norrby NE, Grossman LW, Geraghty EP, et al. Determining the imaging quality of intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:703-14.
- 10) Saad A, Saab M, Gatineau D. Repeatability of measurements with a double-pass system. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:28-33.
- 11) Vilaseca M, Padilla A, Pujol J, et al. Optical quality one month after verisyse and Veriflex phakic IOL implantation and Zeiss MEL 80 LASIK for myopia from 5.00 to 16.50 diopters. *J Refract Surg* 2009;25:689-98.
- 12) Artal P. Understanding aberrations by using double-pass techniques. *J Refract Surg* 2000;16:S560-2.
- 13) Artal P, Benito A, Pérez GM, et al. An objective scatter index based on double-pass retinal images of a point source to classify cataracts. *PloS one* 2011;6:e16823.
- 14) Lee J, Kim JH, Kim EK, Kim TI. Comparative study of clinical outcomes between 2 types of 3-piece aspheric intraocular lenses. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:43-8.
- 15) Beiko GH, Haigis W, Steinmueller A. Distribution of corneal spherical aberration in a comprehensive ophthalmology practice and whether keratometry can predict aberration values. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:848-58.

- 16) Chantra S, Pachimkul P, Nariphaphan P. Wavefront and ocular spherical aberration after implantation of different types of aspheric intraocular lenses based on corneal spherical aberration. J Med Assoc Thai 2011;94 Suppl 2:S71-5.
- 17) Lee KM, Park SH, Joo CK. Comparison of clinical outcomes with three different aspheric intraocular lenses. Acta Ophthalmol 2011;89:40-6.
- 18) Ferrer-Blasco T. Effect of partial and full correction of corneal spherical aberration on visual acuity and contrast sensitivity. J Cataract Refract Surg 2009;35:949-51.
- 19) Salvatore S, Lupo S, Nebbioso M, et al. New insight into visual function with aspherical intraocular lenses (IOLs): Tecnis ZCB00 and Acrysof SN60WF. Int Ophthalmol 2011;31:417-9.
- 20) Jeong JH, Kim MK, Wee WR, Lee JH. Comparison of optical performances in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses after cataract surgery. J Korean Ophthalmol Soc 2010;51:1445-52.
- 21) Alió JL, Schimchak P, Montés-Micó R, Galal A. Retinal image quality after microincision intraocular lens implantation. J Cataract Refract Surg 2005;31:1557-60.
- 22) Kamlesh, Dadeya S, Kaushik S. Contrast sensitivity and depth of focus with aspheric multifocal versus conventional monofocal intraocular lens. Can J Ophthalmol 2001;36:197-201.

**=ABSTRACT=**

## Comparison of Optical Quality Between Two Intraocular Lenses Using Double-Pass Based Optical Quality Analysis System

Ae Young Kwak, MD<sup>1,2</sup>, Moonjung Choi, MD<sup>1</sup>, Kyoung Yul Seo, MD, PhD<sup>1</sup>, Ji Min Ahn, MD<sup>2</sup>

*The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, Yonsei University College of Medicine<sup>1</sup>, Seoul, Korea  
Siloam Eye Hospital<sup>2</sup>, Seoul, Korea*

**Purpose:** To compare postoperative optical qualities between two types of 1-piece aspheric intraocular lenses using the double-pass technique.

**Methods:** Uncorrected visual acuity (UCVA), best corrected visual acuity (BCVA), and spherical equivalent were evaluated in the subject groups; the first which included 25 eyes implanted with Tecnis® ZCB00 and the second which included 16 eyes implanted with Acrysof® IQ SN60WF. In addition, modulation transfer function (MTF) cut-off, Strehl ratio, and objective scattering index (OSI) were measured 6 months after cataract surgery in the 2 subject groups using Optical Quality Analysis System (OQAS, Visiometrics S.L., Terrasa, Barcelona, Spain) which is based on the double-pass technique.

**Results:** There were no significant differences in the spherical equivalent, UCVA, BCVA, and OSI between the 2 groups. However, both the MTF cut-off, and Strehl ratio showed statistically significant differences. The MTF cut-off ( $28.0 \pm 7.79$  vs.  $20.4 \pm 9.51$  c/deg,  $p = 0.025$ ) and Strehl ratio ( $0.14 \pm 0.04$  vs.  $0.12 \pm 0.05$ ,  $p = 0.042$ ) were higher in the Tecnis® ZCB00-implanted group.

**Conclusions:** The difference in characteristics of intraocular lenses subtly affects the vision quality as measured by values such as MTF cut-off and Strehl ratio after cataract surgery. OQAS based on the double-pass technique is considered useful in more objective estimates of the real retinal image quality after cataract surgery which is difficult to explain simply by measuring visual acuity.

J Korean Ophthalmol Soc 2013;54(12):1818-1823

**Key Words:** Double-pass, Optical Quality Analysis System, Visual quality, 1-piece aspheric intraocular lenses

---

Address reprint requests to **Ji Min Ahn, MD**  
Siloam Eye Hospital  
#181 Deungchon-ro, Gangseo-gu, Seoul 157-836, Korea  
Tel: 82-2-2650-0700, Fax: 82-2-2650-0725, E-mail: 24mini@naver.com