

근시교정 굴절수술을 받았던 눈에서 회절형 다초점 인공수정체 삽입 후 시각 및 광학 결과

Clinical Results and Optical Quality of Diffractive Multifocal IOL Implantation after Myopic Refractive Surgery

박재홍 · 안동섭 · 문상정 · 이동준 · 한상엽 · 이경현

Jae Hong Park, MD, Dong Seob Ahn, MD, Sang Jeong Moon, MD, Dong Jun Lee, MD,
Sang Youp Han, MD, Kyung Heon Lee, MD

부산성모안과병원

Busan Sungmo Eye Hospital, Busan, Korea

Purpose: To evaluate the visual outcome and optical quality in eyes with diffractive multifocal intraocular lens (DMIOL) implantation after myopic refractive surgery.

Methods: Nineteen eyes (15 patients) were implanted with AcriSof ReSTOR® SN6AD1, the aspheric DMIOL after myopic refractive surgery (laser-assisted in situ keratomileusis [LASIK] 14 eyes, photorefractive keratectomy [PRK] 4 eyes, laser-assisted subepithelial keratomileusis [LASEK] 1 eye). Preoperative and postoperative visual acuities and manifest refraction were measured. Preoperative corneal higher-order aberrations (HOAs) were measured using Hartmann-Shack (H-S) aberrometer in dilated pupils, and optical qualities were measured 1 month postoperatively using H-S aberrometer and a double-pass system under mesopic conditions. Patient satisfaction was investigated using a questionnaire at 2 months postoperatively.

Results: Uncorrected distant and near visual acuities at postoperative 2 months were 0.11 ± 0.19 , and 0.19 ± 0.12 (log MAR), respectively. Postoperative spherical equivalent (SE) of 16 eyes (84.2%) was within ± 0.50 diopters (D) and all eyes were within ± 1.00 D from emmetropia. Preoperative corneal and postoperative ocular spherical aberrations in a 4.0 mm pupil diameter were 0.08 ± 0.08 and 0.07 ± 0.07 (μm), respectively. Objective scatter index was 3.42 ± 1.71 and modulation transfer function (MTF) cut-off value was 21.03 ± 12.37 cpd. General satisfaction score was 3.52 ± 0.96 points out of 5, and 8 patients (11 eyes) were not satisfied with DMIOL implantation.

Conclusions: After DMIOL implantation in the eyes with previous myopic refractive surgery, postoperative SE was close to the target D, but optical qualities and patient satisfaction were poor.

J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(12):1779-1786

Key Words: Aspherical diffractive multifocal intraocular lens, Higher-order aberration, Myopic refractive surgery, Optical quality

■ Received: 2014. 4. 26. ■ Revised: 2014. 8. 11.

■ Accepted: 2014. 11. 17.

■ Address reprint requests to **Sang Jeong Moon, MD**
Busan Sungmo Eye Hospital, #409-1 Haeundae-ro,
Haeundae-gu, Busan 612-823, Korea
Tel: 82-51-743-0775, Fax: 82-51-743-0776
E-mail: pinmed@hanmail.net

* This study was presented as a narration at the 110th Annual Meeting
of the Korean Ophthalmological Society 2013.

많은 근시 환자들이 안경 없이 생활하기 위해서 레이저 각막절삭성형술(LASIK), 굴절교정레이저각막절제술(PRK), 레이저각막상피절삭성형술(LASEK)과 같은 근시교정 굴절 수술을 받는다. 이러한 환자들도 나이가 들면 노안이나 백 내장이 생길 것이고, 이미 근시교정 굴절수술 후 안경 없이 생활하는 것에 익숙하기 때문에 백내장 수술 후에 다시 안경을 끼는 것을 원하지 않을 것이다. 다초점 인공수정체 삽입

술이 환자들의 백내장 수술 후 만족도를 높이기 위한 하나의 방법일 수 있다. 하지만 과거에 근시교정 굴절수술을 받았던 환자들의 백내장 수술에서 다초점 인공수정체를 삽입할 경우 환자의 만족도가 감소하는 여러 가지 위험이 존재한다. 먼저 근시교정 굴절수술을 받았던 눈에 삽입할 인공수정체의 도수 결정은 어렵고 예측성이 떨어지며,^{1,2} 백내장 수술 후 여분의 굴절이상은 다초점 인공수정체의 효율을 낮춰 환자의 시력의 질 감소로 이어진다. 또한 회절형 다초점 인공수정체는 입사된 빛이 인공수정체의 회절 영역을 통해 회절되면서 근거리와 원거리 시력을 위해 2군데로 초점이 분산되므로 다양한 정도의 대비감소 저하 및 광륜(halo), 눈부심(glare) 같은 약광성 현상(dysphotia phenomenon)을 유발하여 환자의 시력의 질 저하로 이어질 수 있다.³

근시교정 굴절수술을 받았던 눈에서 회절형 다초점 인공수정체 삽입술의 시력 및 광학 결과는 불명확하며 저자들이 아는 한 이를 평가한 국내 연구는 없었고, 이러한 환자들의 만족도를 조사한 국내의 연구는 없었다. 본 연구에서는 과거 근시교정 굴절수술을 받았던 눈에서 회절형 다초점 인공수정체 삽입 후 임상 및 광학 결과, 환자 만족도를 보고하고자 한다.

대상과 방법

2012년 1월부터 2014년 1월까지 본원에서 백내장으로 진단받고 수술 받은 환자 중 과거에 근시교정굴절수술을 받았던 19안 15명을 대상으로 전향적으로 연구를 진행하였다. 모든 눈에서 굴절교정수술 전 각막곡률치, 현성굴절검사결과에 대한 정보는 없었다. 환자들은 1991년부터 2004년 사이에 굴절교정수술을 받은 기왕력이 있으며, 수술 종류로 LASIK이 14안, PRK가 4안, LASEK이 1안에서 있었다. 다초점 인공수정체 삽입 대상자로 각막 난시는 -1.0디옵터 미만으로 하였고, 시력에 영향을 줄 수 있는 약시나 녹내장, 황반변성이나 당뇨병망막병증 등 망막질환, 술 전 상담에서 수술 결과에 대한 기대치가 지나치게 높은 환자는 제외하였다.

인공수정체 도수계산은 먼저 자동각막곡률계(KR 7100P®, Topcon Corp., Japan)와 Orbscan II® (Bausch & Lomb, Salt Lake City, Utah)를 이용하여 각막전면의 곡률반경(r1)과 후면의 곡률반경(r2)을 구하였다. 각막전면의 각막곡률치(Kant)는 각막의 유효굴절지수($N_c=1.376$)와 공기의 유효굴절지수($N_a=1$)의 차이를 각막전면의 곡률반경(r1)으로 나누었고, 각막후면의 각막곡률치(Kpost)는 방수의 유효굴절지수($N_aq=1.336$)와 각막의 유효굴절지수(N_c)의 차이를 각막후면의 곡률반경으로 나누었다. 자동각막곡률계를 이용하여 측정한 각막전면

의 각막곡률치(KRKant)와 Orbscan을 이용하여 측정한 각막후면의 각막곡률치(Kpost)의 합을 K1으로 정의하고 Orbscan을 이용하여 측정한 각막전면의 각막곡률치(Korbant)와 각막후면의 각막곡률치(Kpost)의 합을 K2로 정의하였다. K1과 K2값 중 낮은 값(Low K)을 SRK/T 공식에 대입하여 환자에게 삽입할 인공수정체 도수를 구하였다. 본 연구의 저자들은 2003년부터 굴절교정수술 기왕력이 있는 환자에서 백내장 수술이 필요한 경우에 위와 같은 방법으로 삽입할 인공수정체의 도수를 결정하였다. 저자들의 2005년 연구에서는 대상안 12안 모두에서 역으로 구한 실제 각막곡률값과 비교하여 1D 내의 차이를 보였고, 2013년 연구에서는 대상안 22안 중 14안(63.8%)에서 이상적인 인공수정체 값의 $\pm 0.5D$ 범주에 있었고 20안(90.9%)에서 $\pm 1.0D$ 범주에 속하였다.^{4,5} 수술 후 목표 도수는 정시(Emmetropia)를 기준으로 삼았다.^{6,7}

백내장 수술은 2명의 술자가 시행하였고(LKH, HSY), 수술 방법은 0.5% proparacaine hydrochloride (Alcaine®, Alcon, USA)로 점안 마취 후 2.2 mm 이측 또는 각막곡률이 가파른 축으로 투명각막절개 및 5 mm 크기의 수정체낭원형절개를 시행하였다. 동일한 기계(Infiniti phaco unit®, Alcon Inc., Irvine, CA)를 사용하여 수정체유화술을 시행하였고, 비구면 회절형 다초점 인공수정체 AcrySof ReSTOR® SN6AD1 (Alcon Laboratories, Fort Worth, Texas)을 수정체낭 내에 삽입 후 각막 봉합 없이 마무리하였다. 술 후 0.5% levofloxacin (Cravit®, Santen, Japan)과 0.1% fluorometholon (Ocumetholon®, Samil, Korea)을 하루 4회 점안하도록 하였고, 19안 모두 합병증은 없었다.

수술 전과 술 후 2주, 1개월, 2개월에 나안시력, 최대교정시력을 근, 원거리에서 측정하였고 현성굴절검사를 시행하였다. Hartmann-Shack (H-S) 방식의 수차계인 KR-1W® (Topcon Corp., Tokyo, Japan)를 이용하여 암실에서 수차를 측정하였다. 술 전에는 산동하여 평균 동공 크기 7.97 ± 1.94 mm에서 각막수차를 측정하였고, 술 후 1개월에는 산동하지 않은 상태로 평균 동공 크기 4.94 ± 0.46 mm에서 각막수차와 안구수차를 측정하였다. 술 후 1개월에 Optical quality analysis system (OQAS®, Visiometrics, SL, Spain)을 이용하여 객관적 산란지수(OSI), MTF 컷-오프 값 등을 측정하였다.

술 후 2개월째 모든 환자를 대상으로 설문지를 통해 만족도를 조사하였다(Appendix). 만족도는 1점에서 최고 5점까지 점수화하였고 원거리, 중간거리, 근거리를 따로 분류하였다. 만족과 불만족의 이유와 안경 착용의 필요 유무를 조사하였다.

결 과

대상환자 15명은 남자 6명, 여자 9명으로 평균 나이는 49.0 ± 6.8 세였다(Table 1). 수술 전 원거리 최대교정시력은 0.38 ± 0.27 (logMAR), 구면렌즈대응치는 -1.74 ± 2.52 , 각막곡률값은 37.17 ± 2.37 , 삽입한 인공수정체의 도수는 19.44 ± 1.77 (diopter)였다.

백내장 수술 전 각각 4 mm와 6 mm 동공크기에서 H-S 방식의 수차계로 측정된 각막 수차는 총 고위수차(Total HOA) 0.24 ± 0.11 , 0.85 \pm 0.25, 삼차 고위수차 0.20 ± 0.10 , 0.51 \pm 0.24, 사차 고위수차 0.12 ± 0.07 , 0.64 \pm 0.18, 코마수차 0.19 ± 0.11 , 0.47 \pm 0.24, 구면수차는 0.08 ± 0.08 , 0.58 \pm 0.15 (μ m)였다(Table 2). 수술 1개월 후 4 mm 동공크기에서 동일한 수차계로 측정된 각막 수차는 총 고위수차 0.26 ± 0.09 , 삼차 고위수차 0.22 ± 0.09 , 사차 고위수차 0.13 ± 0.06 , 코마수차 0.17 ± 0.09 , 구면수차 0.08 ± 0.09 (μ m)이었고, 안구 수차는 총 고위수차 0.26 ± 0.14 , 삼차 고위수차 0.23 ± 0.15 , 사차 고위수차 0.12 ± 0.05 , 코마수차 0.17 ± 0.12 , 구면수차 0.07 ± 0.07 (μ m)였다(Table 2).

백내장 수술 2개월 후 원거리 나안시력은 0.11 ± 0.09 , 원

거리 교정시력은 0.03 ± 0.04 , 근거리 나안시력은 0.19 ± 0.12 (logMAR)였고(Table 3), 전체 19안 중 4안(21%)에서 원거리 나안시력이 1.0 이상, 11안(57%)에서 0.8 이상, 근거리 나안시력에서는 2안(10%)이 1.0 이상, 6안(31%)에서 0.8 이상(Snellen)이었다(Fig. 1).

수술 1개월째 측정된 구면렌즈대응치는 평균 -0.21 ± 0.34 (diopter)로 ± 0.50 디옵터 이내의 16안, 모든 안이 ± 1.0 디옵터 이내에 분포하였다(Fig. 2).

Optical quality analysis system (OQAS[®], Visiometrics SL, Spain)을 이용하여 측정된 객관적 산란지수(Objective scatter index, OSI)는 3.43 ± 1.71 , MTF 컷-오프 값은 21.03 ± 12.37 (cycle per degree), Strehl ratio는 0.13 ± 0.07 , 50% PSF 직경은 7.40 ± 3.63 arc min, 10% PSF 직경은 27.48 ± 15.02 arc min이었다(Table 4).

수술 후 2개월째, 설문조사를 통한 만족도 조사(Appendix)

Table 1. Demographic data of the patients with diffractive IOL implantation after myopic refractive surgery

Characteristic	Values
Number of eyes (patients)	19 (15)
Age (years)	49.0 ± 6.78
Sex (M:F)	6:9
Preoperative SE (diopter)	-1.74 ± 2.52
Corrected distance VA (log MAR)	0.39 ± 0.28
K value (diopter)	37.17 ± 2.37
Axial length (mm)	26.70 ± 1.36
IOL power (diopter)	19.44 ± 1.77
Type of refractive surgery (eye, n)	
LASIK	14
PRK	4
LASEK	1

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.

IOL = intraocular lens; SE = spherical equivalent; VA = visual acuity; K value = keratometric value; LASIK = laser-assisted in situ keratomileusis; PRK = photorefractive keratectomy; LASEK = laser-assisted subepithelial keratomileusis.

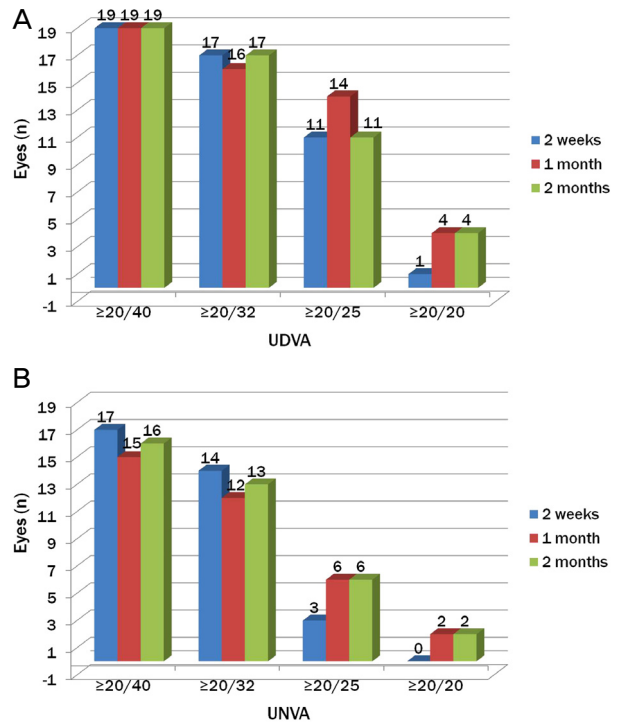


Figure 1. Visual acuity after the diffractive multifocal intraocular lens (IOL) implantation. (A) Uncorrected distance visual acuity (UDVA). (B) Uncorrected near visual acuity (UNVA).

Table 2. Corneal/ocular aberrations (μ m) before and after the diffractive IOL implantation

	Corneal/ocular	Pupil size	Total HOA	3rd HOA	4th HOA	Coma	SA
PreOP	Cornea	4 mm	0.24 ± 0.11	0.20 ± 0.10	0.12 ± 0.07	0.19 ± 0.11	0.08 ± 0.08
PreOP	Cornea	6 mm	0.85 ± 0.25	0.51 ± 0.24	0.64 ± 0.18	0.47 ± 0.24	0.58 ± 0.15
PostOP 1 M	Cornea	4 mm	0.26 ± 0.09	0.22 ± 0.09	0.13 ± 0.06	0.17 ± 0.09	0.08 ± 0.09
PostOP 1 M	Ocular	4 mm	0.26 ± 0.14	0.23 ± 0.15	0.12 ± 0.05	0.17 ± 0.12	0.07 ± 0.07

Values are presented as mean \pm SD.

IOL = intraocular lens; HOA = higher-order aberration; SA = spherical aberration; M = month.

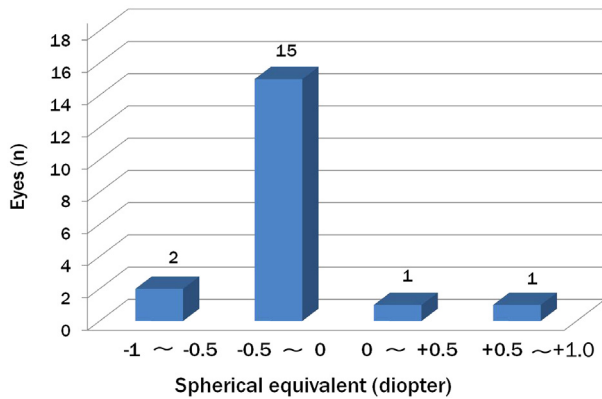


Figure 2. Postoperative spherical equivalent of the patients who had implanted the diffractive multifocal intraocular lens (IOL).

Table 3. Postoperative visual acuity (log MAR) after the diffractive IOL implantation

	2 weeks	1 month	2 months
Distance			
UDVA	0.11 ± 0.07	0.11 ± 0.10	0.11 ± 0.09
CDVA	0.04 ± 0.04	0.04 ± 0.05	0.03 ± 0.04
Near			
UNVA	0.22 ± 0.10	0.21 ± 0.12	0.19 ± 0.12

Values are presented as mean ± SD.

IOL = intraocular lens; UDVA = uncorrected distance visual acuity; CDVA = corrected distance visual acuity; UNVA = uncorrected near visual acuity.

Table 4. OQAS® results after at 1 month after the diffractive IOL implantation (n = 11)

Parameter	Values
OSI (OSI value)	3.43 ± 1.71
MTF cut-off (C/deg)	21.03 ± 12.37
Strehl ratio	0.13 ± 0.07
Width at 50% (arc min)	7.40 ± 3.63
Width at 10% (arc min)	27.48 ± 15.02

Values are presented as mean ± SD.

OQAS = optical quality analysis system; IOL = intraocular lens; OSI = objective scatter index; MTF = modulation transfer function.

Table 5. Patients' satisfaction scores at 2 months after the diffractive IOL implantation

Categories	Values
General	3.52 ± 0.96
Distant VA	3.36 ± 0.76
Intermediate VA	3.68 ± 0.67
Near VA	3.31 ± 1.05

Values are presented as mean ± SD.

IOL = intraocular lens; VA = visual acuity.

에서 5점 만점에 전반적인 만족도는 3.52 ± 0.96 , 원거리 3.36 ± 0.76 , 중간거리 3.68 ± 0.67 , 근거리 3.31 ± 1.05 점의 결과를 보였다(Table 5). 14안에서는 술 후 안경착용이 불

필요하였으나 5안 4명에서 근거리 작업 시 안경이 필요하다고 답하였다. 불만족한 부분이 있다고 답변한 11안에서 이유를 조사하였을 때, 달무리 현상이 2안, 불빛 번짐이 9안, 글자 번짐이 8안에서 있었고 6안은 중복답변하였다. 타인에게 다초점 인공수정체 삽입을 추천할 것인가에 대해 적극 추천 2안, 추천 4안, 보통 8안, 별로 추천하지 않는다 5안에서 있었고 추천 여부에 따라서 추천 및 적극추천 6안과 나머지 13안을 그룹화하여 비교하였을 때, 시력, 고위 수차, OQAS®로 측정된 시력의 질 모두 유의한 차이가 없었다.

고 찰

본 연구에서 대상 환자의 평균 나이는 49.0 ± 6.8 세였다. 다초점 인공수정체 삽입술의 임상 결과를 보고한 국내 논문에서 대상 환자의 평균 나이가 $56.2-67.9$ 세였고,⁸⁻¹¹ 국외 논문에서 평균 나이가 $60.9-75.0$ 세의 분포를 보인 것과 비교하면,¹²⁻¹⁴ 본 연구의 대상 환자는 상대적으로 젊은 나이에 백내장 수술을 받았다. 15명의 환자 중 양안을 수술한 환자는 4명에 불과할 만큼 단안의 비중이 높았고, 양안에 백내장 수술을 받은 4명에서는 나중에 백내장 수술을 받은 눈의 술 후 2달째 구면렌즈대응치가 4안 모두 ± 0.50 디옵터 내로 측정되었을 만큼 정확도가 높았다. 술 전 6 mm 동공 크기에서 측정한 각막 고위수차에서 총 고위수차, 코마수차, 구면수차가 각각 0.85 ± 0.25 , 0.47 ± 0.24 , 0.58 ± 0.15 마이크로론으로, 본 연구와 동일한 KR-1W® 수차계로 교정시력 1.0 정상 안의 6 mm 동공 크기에서 측정 결과인 0.361 ± 0.025 , 0.160 ± 0.028 , 0.267 ± 0.016 마이크로론과 비교해 보았을 때,¹⁵ 본 연구에서 더 높은 수차 값을 나타냈다. 요약하면 본 연구 대상 환자의 특징은 비교적 젊은 나이에 단안에서 백내장 수술이 필요하였고, 백내장 술 전 각막의 고위수차가 증가된 상태였다.

대상 환자의 술 후 2개월째 평균 원거리 나안시력은 0.11 ± 0.09 , 근거리 나안시력은 0.19 ± 0.12 (logMAR)로 본 연구와 동일한 AcrySof ReSTOR®를 굴절교정수술을 받지 않은 눈에서 삽입한 국내 타 연구들과 비교하였을 때, 20안 10명을 대상으로 한 연구에서는 술 후 2개월에 원거리 나안시력이 0.09 ± 0.11 , 근거리 나안시력은 0.17 ± 0.12 (logMAR)였고,¹⁶ 19안을 대상으로 한 연구에서는 각각 0.05 ± 0.11 , 0.17 ± 0.11 (logMAR)을 보고하였다.¹⁷ 23안 19명을 대상으로 한 국내 연구에서 술 후 3개월에 원거리 나안시력이 0.13 ± 0.10 , 근거리 나안시력은 0.25 ± 0.22 (logMAR), 원거리 나안 Snellen 시력 0.5 이상 차지하는 비율이 87.0%, 0.8 이상이 69.9%, 근거리 나안 Snellen 시력 0.5 이상이

69.9%, 0.8 이상이 21.7%였고,¹¹ 본 연구에서는 각각 100%, 57.9%, 84.2%, 31.6%였다. 본 연구 대상 환자들의 백내장 수술 후 원거리와 근거리 나안시력 모두 정상 안에서 AcrySof ReSTOR[®]를 삽입한 국내 타 연구 수치와 비슷하였다.

수술 후 1개월에 구면렌즈대응치는 목표값의 ± 0.5 디옵터 이내가 16안(84.2%), ± 1.0 디옵터 이내가 19안(100%)이었다. Muftuoglu et al¹⁸은 과거 라식수술을 받은 49안 38명의 환자에서 double-K method를 SRK/T formula에 적용하여 계산된 도수의 다초점 인공수정체를 삽입하였을 때 술 후 굴절이상 값이 ± 0.5 디옵터 이내가 32안(65%), ± 1.0 디옵터 이내가 41안(84%)이었고, 나안시력이 0.8 이하이거나 그 이상이라도 수술 결과에 만족을 못하는 환자 21안(42.9%)에서 엑시머 레이저로 잔여 굴절이상을 교정해주었다고 보고하였다. Fernández-Vega et al¹⁹은 과거 라식수술을 받은 환자에서 Muftuoglu et al¹⁸과 동일한 방법으로 인공수정체 도수를 결정하여, ReSTOR[®]를 삽입한 환자군 22안 12명과 Acri. LISA[®] 366D (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany) 인공수정체를 삽입한 환자군 32안 16명에서 굴절이상 값이 ± 0.5 디옵터 이내가 각각 84.36% vs 84.62%, ± 1.0 디옵터 이내가 두 군 모두 100%를 보고하였다. Fernández-Vega et al¹⁹ 연구에서는 과거 라식 수술을 동일한 기관에서 시행하여 굴절교정수술 전 데이터를 이용할 수 있었으며, 본 연구에서는 술 전 데이터를 이용할 수 없었으나 유사한 결과를 보였으므로 본 연구에서 인공수정체 도수 측정이 비교적 정확하였음을 알 수 있었다.

국내 연구에서 회절 방식의 다초점 비구면 인공수정체 삽입 후 H-S 수차계로 측정한 안구의 총고위수차는 $0.24\text{--}0.41$ (μm), 구면수차는 $-0.02\text{--}0.04$ (μm)로 보고마다 조금씩 차이를 보였다.^{9,10,16} TECNIS[®] ZM900 (AMO, Santa Ana, California)을 삽입하고 6 mm 이상의 동공 크기를 얻은 후 i-Trace를 이용하여 안구 수차를 측정한 연구에서는 고위수차는 0.22 ± 0.09 , 구면수차는 -0.02 ± 0.03 이었다.²⁰ 본 연구에서 백내장 수술 후 4 mm 동공크기에서 각막의 총고위수차는 0.26 ± 0.09 , 안구의 총고위수차는 0.26 ± 0.14 (μm)였으며, 각막의 구면수차는 0.08 ± 0.09 , 안구의 구면수차는 0.07 ± 0.07 로 국내의 타 연구보다 백내장 수술 후 구면수차의 값이 모두 높았다.

Alfonso et al²¹은 LASIK 후 비구면 회절형 다초점 인공수정체 Acri. LISA[®] 366D와 구면 회절형 다초점 인공수정체 ReSTOR[®] SN60D3를 비교한 연구에서 LASIK 이후에 구면수차가 유의하게 증가하여 시력의 질을 떨어뜨리지만 비구면 다초점 인공수정체가 이러한 LASIK 이후 증가한 구면수차를 상쇄시켜 LISA[®]가 ReSTOR[®]보다 우수한 시력의 질을 나타내고, 특히 이러한 차이는 구면수차가 증가하

는 암순응상태에서 더욱 커진다고 보고하였다. 기존 연구에서 굴절교정수술은 대비감도를 떨어뜨리고, 눈부심, 빛반짐 및 고위수차를 증가시킨다고 하였으며,^{22,23} 다초점 인공수정체 삽입은 이러한 증상을 악화시킨다고 하였다.¹⁸ 본 연구에서 한가지 주목할 점은 라식 수술의 기왕력이 있는 환자에서 백내장 수술 전 정상안보다 높은 구면 수차가 비구면 다초점 인공수정체 Acri LISA[®] 366D 삽입으로 백내장 수술 후 감소하여 대비감도, 눈부심 등의 문제를 줄일 수 있다고 보고한 연구도 있으나,^{20,24} 본 연구에서는 비구면 다초점 인공수정체인 AcrySof ReSTOR[®] SN6AD1을 삽입한 이후에도 여전히 높은 구면수차를 보였고, 이것은 Khor and Afshari³가 보고한 비구면 다초점 인공수정체 삽입술이라도 LASIK 이후에 발생한 구면 수차를 보상하지는 못하고, 구면 수차와 총고위수차의 상호작용으로 시력의 질을 저하시킨다는 것과 일치하였다.

H-S 방식의 수차계는 황반부에 조사된 레이저가 반사되어 눈을 통과하여 나올 때 발생하는 수차를 바둑판 모양으로 정렬된 여러 개의 작은 렌즈군과 charge-coupled device (CCD)에서 동시에 기록하여 측정한다. 한편 AcrySof ReSTOR[®] D1의 광학부분의 중심에는 3.6 mm 크기에 12개 동심원 모양의 아포다이즈드 회절 영역을 가지고 있어서 빛이 인공수정체의 회절 영역을 통해 회절되면서 근거리와 원거리 거리에 대해 초점이 맞추어지게 된다. 회절영역 내에서 회절 단계는 중심에서 바깥쪽으로 갈수록 점차 낮아진다. 회절 방식의 다초점 인공수정체를 삽입한 눈에서 H-S 방식의 수차계로 수차를 측정할 경우 빛이 중심부 회절 영역을 통과하면 국소적으로 왜곡된 wavefront가 발생하여 CCD에 기록되는 픽셀 배열을 벗어나는 새로운 중심부(additional centroids) 허상으로 나타난다.²⁵ AcrySof ReSTOR[®] D1에서 회절 영역은 동심원 모양이나 H-S 방식의 수차계의 작은 렌즈군은 바둑판 모양으로 정렬되어 있으므로 이러한 새로운 중심부의 공간분포를 예측하기 어렵다. 결국 회절 영역으로 인해 발생한 위상 변위는 과소 평가된다.²⁵ 게다가 H-S 방식의 수차계는 아포다이즈드 회절 영역이 초래하는 산란을 잡아낼 수 없으므로 AcrySof ReSTOR[®] D1 삽입 이후 측정한 시력의 질은 과대평가된다. 따라서 본 연구의 H-S 방식의 수차계인 KR-1W[®]로 측정한 수차는 과대평가되었다고 볼 수 있다.

Gatinel²⁵은 회절, 수차, 산란과 같은 망막 이미지 열화현상(retinal image degradation)에 민감한 double-pass technique이 회절 방식 다초점 인공수정체 삽입 후 시력의 질 측정에 보다 정확하다고 주장하였다. 정상안과 LASIK 술 후, 인공수정체 삽입 후 시력의 질 측정에서 H-S 방식의 수차계와 double-pass technique을 비교한 연구에서도 정상안에

서는 두 가지 방식이 서로 유사한 결과를 나타내나 높은 고위수차나 산란이 심한 경우 H-S 방식의 수차계가 시력의 질을 과대평가한다고 보고하였고, double-pass technique이 보다 정확하다고 주장하였다.²⁶

Double-pass technique (OQAS[®])을 이용하여 측정한 광학적 질에 대해 본 연구에서는 객관적 산란지수(OSI)가 3.42 ± 1.71 로 Castillo-Gómez et al¹³이 정상 안을 대상으로 각각 20안에서 Acri.LISA[®] 366D와 Tecnis[®] ZM900 회절형 다초점 인공수정체를 삽입한 후 보고한 OSI 1.83 ± 0.91 vs 2.00 ± 0.74 와 비교하여 본 연구에서 더 높은 값을 나타내었다. Modulation transfer function (MTF)은 광학적 질이 우수할수록 시표의 공간주파수가 증가하더라도 광학계를 통과한 이미지의 대비감도가 천천히 감소하여 컷 오프 값이 높다. Strehl ratio는 망막의 일정한 면적에 맺히는 상의 집속도로 값이 높을수록 안구의 광학적 질이 높다. 본 연구의 MTF 컷 오프 값은 21.03 ± 12.37 (c/deg), Strehl ratio는 0.13 ± 0.07 로, Castillo-Gómez et al¹³ 연구의 Acri.LISA[®] 366D와 Tecnis[®] ZM900 삽입군에서 각각 MTF 컷 오프 값 36.81 ± 9.56 vs 31.22 ± 8.27 (c/deg), Strehl ratio 0.20 ± 0.05 vs 0.18 ± 0.04 에 비교하면 본 연구에서 더 낮은 광학적 질을 나타내었다. Width at 50%와 width at 10%는 PSF의 peak intensity 50%와 10%에서의 폭을 의미하고 광학적 질이 우수할수록 낮은 값을 나타내며 본 연구에서 Width at 50% 값이 7.39 ± 3.63 , width at 10%는 27.47 ± 15.02 로 Castillo-Gómez et al¹³이 보고한 Acri.LISA[®] 366D와 Tecnis[®] ZM900 삽입군에서 각각 Width at 50%가 3.90 ± 1.45 vs 4.41 ± 1.15 , Width at 10%가 19.21 ± 10.68 vs 25.01 ± 11.33 으로 본 연구에서 더 높은 값을 보였고, 이것 또한 광학적 질이 본 연구에서 Castillo-Gómez et al¹³의 연구보다 더 낮음을 의미하였다. 본 연구에서 double-pas technique으로 측정한 광학적 질이 떨어지는 이유에 대해, 다양한 병원에서 라식, 라섹, PRK 수술을 받은 환자로 대상안이 구성되어 있어 정확한 원인을 알기 어려우나 세극등 검사에서 관찰이 힘든 각막 혼탁이 OSI 증가에 영향을 끼쳤을 것으로 생각한다.

만족도를 살펴보면 전반적인 만족도가 5점 만점에 평균 3.52점으로 근거리 만족도 3.31점, 원거리 만족도 3.36점으로 양안을 수술한 4명과 나머지 11명에서 만족도의 차이를 나타내지는 않았다. 굴절교정수술을 받지 않은 눈에서 회절 방식의 다초점 인공수정체를 삽입한 국내 연구의 만족도 조사에서 전반적인 만족도 및 근거리와 원거리 시력의 만족도는 대부분의 환자들이 4점 이상이였다.^{10,11,16,17} 평균 전반적인 만족도 점수가 3.85에서 4.28점까지 보고된 것을 감안하면 본 연구의 환자 만족도가 낮았다.^{10,11,16,17} 본 연구

에서 11안 8명에서 불만족 항목에 답변하였고, 불만족의 이유에 대해 9안(47.4%)에서 불빛이 번짐, 8안(42.1%)에서 글자가 선명하지 못하다고 불만을 제기하였고 5안 4명이 근거리 작업에서 안경이 필요하다고 답변하였다. 국내 타 연구에서 눈부심과 달무리 현상이 대략 5-30%까지 보고된 것을 보면 상대적으로 본 연구에서 환자가 불만을 제기한 비중이 높았다.^{10,11,16,17}

결론적으로 본 연구 대상환자에서 굴절교정수술을 받지 않은 눈을 대상으로 한 국내 타 연구와 유사한 원거리와 근거리 나안시력을 보였고, 백내장 술 후에 비교적 목표 도수에 가까운 구면렌즈대응치를 나타냈다. 시력의 질과 만족도에 있어서는 백내장 술 전부터 상대적으로 높은 수치의 구면수차가 비구면 인공수정체 삽입 후에도 상쇄되지 못하였고, double-pass technique으로 측정한 산란 등과 같은 망막 이미지 열화현상(retinal image degradation)이 심하여 광학적 질의 저하와 낮은 만족도로 나타났다.

이 연구의 제한점으로는 대상 안의 수가 19안 15명으로 적은 것과 술 후 2개월간의 짧은 경과관찰기간을 들 수 있다. 백내장 술 후 시력의 질에 영향을 끼치는 요인으로 굴절이상, 고위수차, 동공의 크기, 건조증, 개인의 민감도 등이 있고, 이러한 요소들이 복합적으로 작용하여 시력의 질과 만족도에 영향을 끼친다.^{8,27,28} 회절 방식의 인공수정체 삽입 후 H-S 방식의 수차계 측정이 부정확한 면이 있고, 모든 환자들이 굴절교정술 후 상태로 안구건조증을 간과한 것도 본 연구의 제한점이라고 할 수 있다.

REFERENCES

- 1) McCarthy M, Gavanski GM, Paton KE, Holland SP. Intraocular lens power calculations after myopic laser refractive surgery: a comparison of methods in 173 eyes. *Ophthalmology* 2011;118:940-4.
- 2) Wang L, Hill WE, Koch DD. Evaluation of intraocular lens power prediction methods using the American Society of Cataract and Refractive Surgeons Post-Keratometric Intraocular Lens Power Calculator. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1466-73.
- 3) Khor WB, Afshari NA. The role of presbyopia-correcting intraocular lenses after laser in situ keratomileusis. *Curr Opin Ophthalmol* 2013;24:35-40.
- 4) Kang JH, Park JI, Lee KH. A new method for measuring corneal refractive power after refractive surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2005;46:859-64.
- 5) Lee WS, Moon SJ, Lee KH, Lee DJ. Comparison of four systems of IOL calculation after keratorefractive surgery in eyes requiring cataract surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:1810-7.
- 6) Lee AC, Qazi MA, Pepose JS. Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol* 2008;19:13-7.
- 7) Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by par-

- tial coherence interferometry. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:63-71.
- 8) Kim SY, Kim MS. The Study on target refraction to improve visual quality in patients implanted with multifocal IOL. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:223-9.
- 9) Chang M, Eom Y, Kang SY, et al. Clinical outcome of diffractive multifocal aspheric intraocular lens. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:529-36.
- 10) Gwak JY, Choi JS, Pak KH, Baek NH. Visual and optical functions after diffractive multifocal intraocular lens. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:396-402.
- 11) Lee HS, Park SH, Kim MS. Clinical results and some problems of multifocal apodized diffractive intraocular lens implantation. *J Korean Ophthalmol Soc* 2008;49:1235-41.
- 12) Zelichowska B, Rekas M, Stankiewicz A, et al. Apodized diffractive versus refractive multifocal intraocular lenses: optical and visual evaluation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:2036-42.
- 13) Castillo-Gómez A, Carmona-González D, Martínez-de-la-Casa JM, et al. Evaluation of image quality after implantation of 2 diffractive multifocal intraocular lens models. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1244-50.
- 14) de Vries NE, Franssen L, Webers CA, et al. Intraocular straylight after implantation of the multifocal AcrySof ReSTOR SA60D3 diffractive intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:957-62.
- 15) López-Miguel A, Martínez-Almeida L, González-García MJ, et al. Precision of higher-order aberration measurements with a new Placido-disk topographer and Hartmann-Shack wavefront sensor. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:242-9.
- 16) Park YL, Hwang GY, Joo CK. Comparative study of clinical outcomes between 2 types of multifocal aspheric intraocular lenses. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:1199-207.
- 17) Kim SM, Kim CH, Chung ES, Chung TY. Visual outcome and patient satisfaction after implantation of multifocal IOLs: three-month follow-up results. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:230-7.
- 18) Muftuoglu O, Dao L, Mootha VV, et al. Apodized diffractive intraocular lens implantation after laser in situ keratomileusis with or without subsequent excimer laser enhancement. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1815-21.
- 19) Fernández-Vega L, Madrid-Costa D, Alfonso JF, et al. Optical and visual performance of diffractive intraocular lens implantation after myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:825-32.
- 20) Yoon JU, Chung JL, Hong JP, et al. Comparison of wavefront analysis and visual function between monofocal and multifocal aspheric intraocular lenses. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:195-201.
- 21) Alfonso JF, Madrid-Costa D, Poo-López A, Montés-Micó R. Visual quality after diffractive intraocular lens implantation in eyes with previous myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1848-54.
- 22) Alió JL, Piñero D, Muftuoglu O. Corneal wavefront-guided retreatments for significant night vision symptoms after myopic laser refractive surgery. *Am J Ophthalmol* 2008;145:65-74.
- 23) Bühren J, Martin T, Kühne A, Kohnen T. Correlation of aberrometry, contrast sensitivity, and subjective symptoms with quality of vision after LASIK. *J Refract Surg* 2009;25:559-68.
- 24) van Gaalen KW, Koopmans SA, Jansonijs NM, Kooijman AC. Clinical comparison of the optical performance of aspheric and spherical intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:34-43.
- 25) Gatinel D. Limited accuracy of Hartmann-Shack wavefront sensing in eyes with diffractive multifocal IOLs. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:528; author reply 528-9.
- 26) 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.
- 27) Toto L, Falconio G, Vecchiario L, et al. Visual performance and biocompatibility of 2 multifocal diffractive IOLs: six-month comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1419-25.
- 28) Alfonso JF, Fernández-Vega L, Baamonde MB, Montés-Micó R. Correlation of pupil size with visual acuity and contrast sensitivity after implantation of an apodized diffractive intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:430-8.

