대한안과학회지 2014년 제 55 권 제 6 호
J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(6):809-816
pISSN: 0378-6471 · eISSN: 2092-9374
http://dx.doi.org/10.3341/jkos.2014.55.6.809

Original Article

각막 구면수차의 교정을 동반한 백내장 수술의 임상 결과 분석

Clinical Outcomes of Cataract Surgery with Correction of Corneal Spherical Aberration

이진호[1] · 최혁진[1,2] · 김미금[1] · 위원량[1]

Jinho Lee, MD[1], Hyuk Jin Choi, MD[1,2], Mee Kum Kim, MD, PhD[1], Won Ryang Wee, MD, PhD[1]

서울대학교 의과대학 안과학교실[1], 서울대학교병원 강남센터[2]

Department of Ophthalmology, Seoul National University College of Medicine[1], Seoul, Korea
Seoul National University Hospital Healthcare System Gangnam Center[2], Seoul, Korea

Purpose: To evaluate preoperative and postoperative spherical aberrations after cataract surgery based on selecting spherical or aspheric intraocular lens (IOL) according to preoperative corneal aberration.

Methods: The medical records of patients who underwent phacoemulsification and IOL implantation in the posterior chamber by a surgeon (H.J.C) were reviewed (68 patients, 97 eyes). IOL was selected based on preoperative corneal spherical aberration measured by corneal topography (ATLAS 9000, Carl Zeiss). The target postoperative total ocular spherical aberration was set to zero (0) and one of the following lenses was chosen: Acrysof SA60AT (n = 25), Acrysof IQ (n = 36) or Tecnis® ZCB00 (n = 36). The Wavescan aberrometer and the corneal topography were obtained postoperatively. Absolute prediction errors of postoperative total ocular spherical aberration were analyzed.

Results: Preoperative corneal spherical aberration was 0.241 μm; total postoperative ocular spherical aberration was 0.0509 μm (Acrysof SA60AT: 0.0954 μm, Tecnis® ZCB00: 0.0374 μm, Acrysof IQ: 0.0335 μm). Postoperative corneal spherical aberration was 0.232 μm, which was not significantly different from the preoperative value (p = 0.199). Postoperative ocular spherical aberration was 0.051 μm; 0.095 μm (Acrysof SA60AT), 0.034 μm (Acrysof IQ), and 0.037 μm (ZCB00). The reducing amounts of spherical aberration were 0.185 μm (Acrysof IQ) and 0.311 μm (ZCB00). The overall absolute prediction error was 0.068 μm. The absolute prediction error of the Acrysof SA60AT group was 0.092 μm, Tecnis® ZCB00 group was 0.067 μm and Acrysof IQ group was 0.054 μm. There was no significant difference among the 3 groups (p = 0.089).

Conclusions: Aspheric IOLs can efficiently reduce total ocular spherical aberrations according to preoperative corneal spherical aberrations.

J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(6):809-816

Key Words: Aspheric intraocular lens, Cataract surgery, Spherical aberration

■ **Received:** 2013. 11. 23. ■ **Revised:** 2014. 1. 24.
■ **Accepted:** 2014. 5. 23.

■ Address reprint requests to **Hyuk Jin Choi, MD**
Department of Ophthalmology, Seoul National University Hospital, #101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea
Tel: 82-2-2072-2438, Fax: 82-2-741-3187
E-mail: docchoi@hanmail.net

* Part of this study was presented as an e-poster at the 109th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2013.

백내장 수술은 1990년대 낭외백내장적출술을 이은 초음파 수정체유화술의 도입 및 인공수정체(Intraocular lens)의 지속적인 개선으로 선진국과 개발도상국에서 끊임없는 발전을 거듭해 왔다.[1-3] 백내장의 효과적인 제거에만 초점을 맞추었던 과거의 수술 목표에서 다양한 계산식을 이용하여 적절한 인공수정체 굴절력 계산을 통한 굴절교정술의 의미가 강화되었다.[4-6] 적절한 목표 굴절력 결정을 통하여 백내장 수술 후 수반되는 조절력 상실에 따른 불편함을 최소화

ⓒ *2014 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.

시키려는 노력도 지속되고 있으며,[7] 최근에는 다초점 인공수정체 등을 통한 조절력 상실의 극복도 소기의 성과를 거두고 있다.[8-10]

2000년대 초반 각막 굴절교정수술에서 먼저 시도된 파면(Wavefront)분석을 이용한 맞춤수술의 시도는 술후 시력에 큰 향상을 보이지는 않았으나, 대비감도나 빛 번짐(glare), 술후 수차 분석 등 시력의 질적인 개선을 도모할 수 있는 가능성이 제시되었다.[11-13] 이어서 백내장 수술에도 파면분석을 이용한 시력예후 개선의 개념이 도입되었고,[12,14-17] 특히 고위수차(High-order aberration)와 시력의 질(Quality of vision)의 관계의 중요성이 강조되면서 술후 고위수차를 줄이기 위한 노력이 지속되고 있다.[18]

특히 고위수차 가운데에서도 Zernike 다항식의 4차항(Z4,0)에 해당하는 구면수차는 비교적 쉽게 수술 전후에 얻고 목표 수차값에 맞는 비구면 인공수정체를 선택하여 교정할 수 있으며, 저위수차인 Defocus (Z2,0) 상쇄에 의한 초점 심도의 변화,[19,20] 대비감도나 빛 번짐 등 시력의 질에 중요한 역할을 하고 있다.

Tecnis® ZCB00 (Advanced Medical Optics (AMO), Santa Ana, CA, USA) 인공수정체는 각막구면수차를 극복하기 위해 전방 비구면렌즈로 구현되었으며 후낭혼탁의 발생을 억제하기 위한 360도 방향에서 각진모서리 형태의 후면을 갖고 있다. 각막 구면수차를 극복하기 위해 6-mm optical zone에서 -0.27 μm의 구면수차를 도입하고 있으며, 이는 먼저 출시된 3-piece IOL인 Tecnis® Z9000/2/3과는 달리 일체형 소수성 아크릴 제제이다.

Acrysof IQ (SN60WF; Alcon, Ft Worth, TEX, USA)의 경우 자외선과 청색광에 대한 필터 처리가 되어 있는 일체형 아크릴 인공수정체이다. Acrysof IQ 렌즈의 특징은 후방의 비구면성으로 구면수차를 줄이도록 설계되었다는 점이며, 6-mm optical zone에서 -0.20 μm의 구면수차를 도입한다.

Salvatore et al[21]은 상기 두 비구면 인공수정체를 이용한 백내장 수술 2개월 후 경과를 비교하였으며, 술후 고위수차, 시유발전위, 망막 민감도에는 차이가 없었지만 대비민감도의 경우 Tecnis® ZCB00를 사용한 군에서 더 나은 결과를 보였다. Assaf and Kotb[22]의 경우 수술 전 각막 파면분석 후 비구면 또는 구면렌즈(Sensar AR40e, AMO)를 선택하여 사용한 백내장 수술에서 수술 후 비구면 렌즈군에서 유의한 구면수차 감소와 대비민감도의 우위를 발표하였다. 그러나 이런 중요성 및 해외 발표현황에 비하여, 국내에 출간된 한국인에서의 각막 구면수차를 이용한 맞춤 백내장 수술의 논문(특히 Tecnis® ZCB00를 이용한 경우)은 많지 않은 상태이다. Kim et al[23]의 경우 비구면 인공수정체로 HOYA AF-1 iSert와 HOYA AF-1 iMics (이상 HOYA, Tokyo, Japan), 구면 인공수정체로 Akreos MI60 (Bausch & Lomb, Inc., Rochester, NY, USA)를 선택하여 술후 6개월에 Akreos MI60군에서 유의하게 구면수차가 비구면 인공수정체보다 높음을 보고하였다. Lee et al[24]의 경우 본 연구에서 사용한 인공수정체인 Acrysof IQ와 Tecnis® ZCB00, 그리고 또 다른 비구면 인공수정체인 enVista MX60 (Bausch & Lomb, Rochester, NY)의 임상 결과를 비교하였고, 수술 후 대등한 고위수차 결과를 보였다.

본 연구에서는 수술 전 각막 구면수차 분석 후 Tecnis® ZCB00와 Acrysof IQ의 비구면 인공수정체 또는 구면 인공수정체(Acrysof SA60AT, Alcon)를 선택하였다. 그리고 이를 이용한 백내장 수술 후 원거리 시력 및 구면수차를 측정하여 비교, 분석하였다.

대상과 방법

2011년 2월부터 2012년 10월까지 서울대학교병원 안과에서 한 명의 술자(H.J.C)에게 수정체초음파유화술 및 낭내 후방 인공수정체 삽입술을 시행 받은 환자의 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 각막이식술을 받았거나, 동공크기에 영향을 줄 수 있는 홍채질환이 있는 경우, 각막 또는 안내수술의 기왕력이 있는 경우, 각막 굴절수술을 받은 경우는 제외하였다. 또한 수술 중 원형 전낭절개가 불완전하였거나(방사상 열개가 발생하였거나 optic zone을 모두 덮지 못한 경우 포함), 전낭절개가 너무 크게 되어 중심이탈의 우려가 큰 경우, 섬모체소대 이상이 발견된 경우, 후낭파열이 있었던 경우, 인공수정체를 낭내(in-the-bag)로 삽입하지 못한 경우 역시 배제하였다. 수술 후 세극등현미경 검사에서 원형전낭절개 또는 인공수정체의 중심이탈이 관찰된 경우도 제외하였다.

수술 전에 초음파 및 IOL Master (Carl Zeiss, Dublin, CA, USA)를 이용하여 계측한 술전 인자를 이용하여 SRK/T Formula를 통해 삽입할 인공 수정체 도수를 구하였다. ATLAS 9000 각막지형도(Carl Zeiss)를 이용하여 6 mm의 optical zone에서 각막 구면수차를 확인하였으며, 수술 전 각막수차와 인공수정체의 구면수차를 더하여 계산한 수술 후 예상 구면수차가 가장 0 μm에 가까운 인공수정체를 다음 중에서 선택하였다: Acrysof SA60AT, Acrysof IQ, Tecnis® ZCB00. 수술 전 각막 구면수차가 +0.100 μm 미만인 경우, Acrysof SA60AT, +0.100 μm 이상 +0.235 μm 미만인 경우, Acrysof IQ, +0.235 μm 이상인 경우, ZCB00 인공수정체를 선택하는 것을 원칙으로 했으나, 다음의 경우에는 각막 구면수차가 +0.100 μm 이상이어도 Acrysof SA60AT를 사용하였다: 각막지형도에서 부정난시가 있는 경우, 헤르페스

각막염 등 각막의 염증성 질환을 앓은 병력이 있는 경우(현성 감염의 경우에는 배제), 반대안의 각막 구면수차가 커서 Tecnis® ZCB00를 삽입하여 양안의 인공수정체의 색을 맞추기 위한 경우(+0.200 μm보다 크지 않은 경우에 한하여), 모든 검사 과정과 분석은 Declaration of Helsinki에 의거하여 실행되었다.

백내장 수술은 Nadbath's method를 이용한 안면신경마비 후 0.5% proparacaine hydrochloride 점안액을 통한 점안 마취 후 시행하였다. 이측방향 각막으로 접근하여 각막절개도를 이용하여 2.75 mm 길이의 투명윤부절개창을 만들고 점탄물질을 전방 내에 채워 넣은 후, 26G needle 및 미세집게를 이용한 원형전낭절개 후 평형생리식염수(balanced salt solution, BSS®, Alcon)를 이용하여 기질 수화(stromal hydration)를 시행하였다. 초음파 유화기(Infinity, Alcon)를 이용하여 초음파 수정체 유화술을 시행한 다음, 해당 인공수정체를 후낭에 삽입하고 전방에 남은 점탄물질을 관류 및 흡입장치로 제거하였다.

수술 전 모든 환자들에서 최대교정시력검사, 세극등현미경검사, 안저 검사, 자동굴절검사 및 ATLAS 9000 각막지형도 검사를 시행하였다. 백내장으로 인한 매체 혼탁 및 빛의 산란으로 인한 측정 오류 및 오차를 감안하여 수술 전에는 안구 구면수차는 측정하지 않고, 각막지형도를 이용하여 각막 구면수차만 측정하였다. 수술 3개월 후 최대 교정시력, 박명시(mesopic condition) 조건하에서 Wavescan 수차계(Wavescan Wavefront system, VISX, Santa Clara, CA, USA) 및 ATLAS 9000 각막지형도를 얻어 안구 및 각막 구면수차를 다시 분석하였다.

수술 전 각막 구면수차에 인공수정체의 구면수차를 더하여 계산한 수술 후 예상 안구 구면수차와 수술 후 실측된 안구 구면수차를 비교하기 위해 예상 구면수차와 실측 구면수차의 차이의 절대값을 절대오차로 정의하고, 각 군별로 절대오차를 계산, 이를 비교하였다.

각 군에서 수술 전후의 구면수차는 대응표본 *t*-검정을 이용하여 비교하였으며, 세 군 간의 절대오차는 One way ANOVA 검정을 이용하여 분석 후, Bonferroni법을 통하여 사후분석을 시행하였다. 통계분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다. $p<0.05$인 경우 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

전체 68명 97안 중에서 Acrysof SA60AT군은 18명 25안, Tecnis® ZCB00군은 24명 36안, Acrysof IQ군은 26명 36안이었다. 세 군의 수술 시행 시 연령($p=0.083$) 및 성별 비율($p=0.272$)은 유의한 차이가 없었다. 기본적인 인구학적 정보 및 수술 전후 주요 수치는 Table 1에 요약하였다. 본 연구에서 양안 수술을 받은 32명 중에서 29명은 양안에 동일한 인공수정체를 삽입하였다. 각 군의 수술 전 최대 교정 시력은 Acrysof SA60AT군 0.67 ± 0.59, Acrysof IQ 0.60 ± 0.34, Tecnis® ZCB00 0.68 ± 0.54 (logMAR)였으며($p=0.777$), 수술 후 최대 교정시력은 Acrysof SA60AT군 0.11 ± 0.18, Acrysof IQ 0.12 ± 0.16, Tecnis® ZCB00 0.27 ± 0.48 (logMAR)로 세 군 간에 유의한 차이는 없었다($p=0.080$).

수술 전 전체 집단의 6-mm optical zone 각막 구면수차는 +0.241 ± 0.122 μm였다. 인공수정체군별로 세부 분석 시 각각 0.119 ± 0.070 μm (Acrysof SA60AT), 0.218 ± 0.076 μm (Acrysof IQ), 0.349 ± 0.094 μm (Tecnis® ZCB00)이었으며 인공수정체의 구면수차 교정량을 고려한 수술 후 예상 안구 구면수차는 0.119 μm (Acrysof SA60AT), 0.018 μm (Acrysof IQ), 0.079 μm (Tecnis® ZCB00)이었다(Fig. 1).

수술 후 전체 집단의 안구 구면수차는 +0.051 ± 0.067 μm로 측정되었다. Acrysof SA60AT군에서는 0.095 ± 0.084 μm, Acrysof IQ 군에서는 0.033 ± 0.047 μm, Tecnis® ZCB00군에서는 0.037 ± 0.057 μm로 측정되었다. 전체 군의 수술 전 각막 구면수차 및 수술 후 안구 구면수차의 분포를 Fig. 2에 요약하였다. 수술 후 전체 집단의 각막 구면수차는 0.232 ± 0.121 μm였다. Acrysof SA60AT군에서는 0.130 ± 0.059 μm, Acrysof IQ 군에서는 0.214 ± 0.097 μm, Tecnis® ZCB00군

Table 1. Comparison of characteristics among three groups

	Tecnis ZCB00	AcrySof IQ	Acrysof SA60AT	*p*-value
No. of patients (eyes)	24 (36)	26 (36)	18 (25)	
Age (years)	69.86 ± 8.08	66.69 ± 10.94	68.60 ± 13.38	0.083
Sex (M:F)	6:30	12:24	7:18	0.272
Preoperative corneal spherical aberration (μm)	+0.349 ± 0.094	+0.218 ± 0.076	+0.119 ± 0.070	0.477
Postoperative corneal spherical aberration (μm)	+0.321 ± 0.111	+0.214 ± 0.097	+0.130 ± 0.059	0.090
Postoperative total ocular spherical aberration (μm)	+0.037 ± 0.057	+0.033 ± 0.047	+0.095 ± 0.084	0.074
Intraocular lens-induced spherical aberration (μm)	-0.311 ± 0.092	-0.185 ± 0.071	-0.023 ± 0.118	<0.001 (ZCB00 > IQ > SA60AT)

Values are presented as mean ± SD.

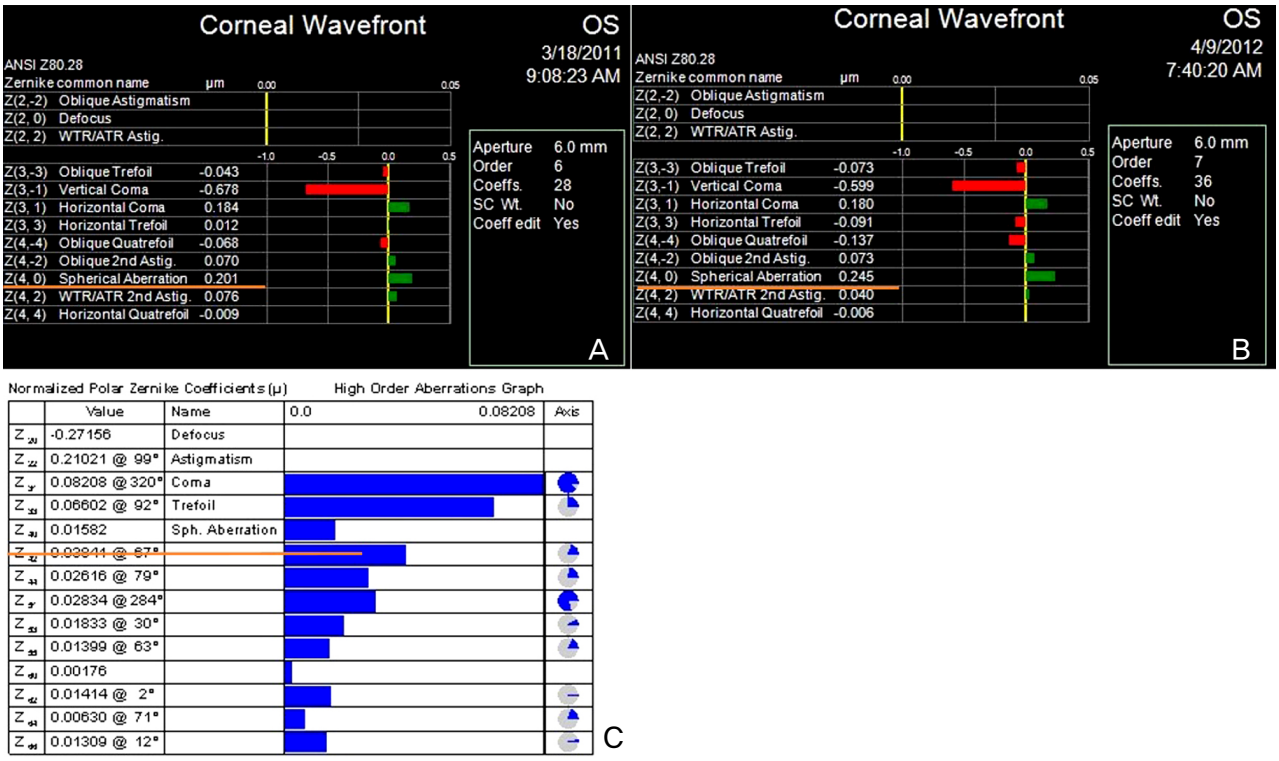

Figure 1. Corneal and ocular wavefront image of same patient. (A) Preoperative corneal wavefront image measured with ATLAS 9000 corneal topography. As shown, the spherical aberration is 0.201 µm. Thus, this patient underwent cataract surgery with Acrysof IQ SN60WF lens. (B) Postoperative corneal spherical aberration has increased to 0.245 µm, 3 months after surgery. (C) Despite increase of corneal spherical aberration, the postoperative ocular spherical aberration was almost zero (0.01582 µm) because of negative spherical aberration of intraocular lens.

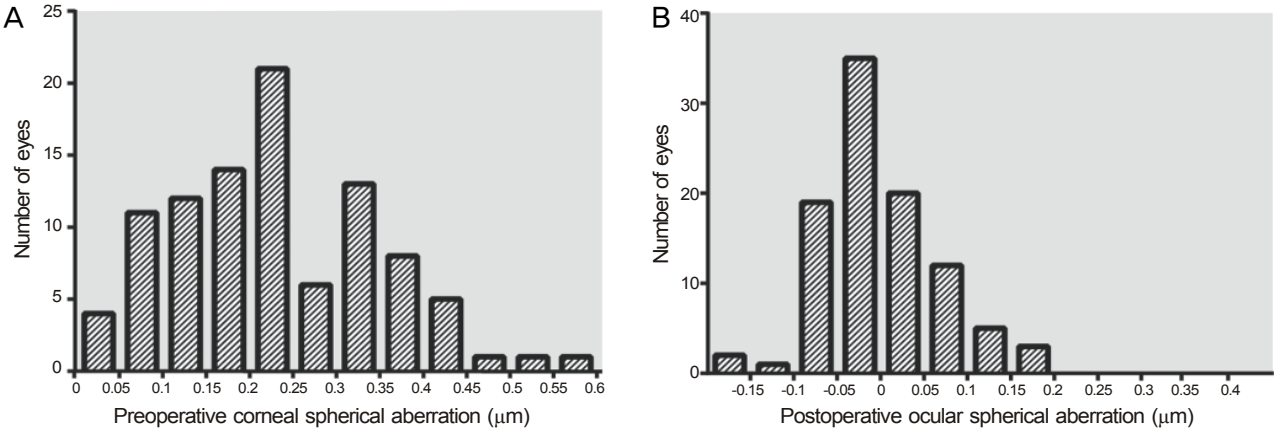

Figure 2. Frequency distribution of corneal topographic wavefront spherical aberration (Z4,0) in the study population. (A) Distribution of preoperative data. (B) Distribution of postoperative data.

에서는 0.321 ± 0.111 µm로 측정되었다. 전체 환자군에서는 수술 전후 각막 구면수차에서 유의한 변화는 없었다(p=0.199). 인공수정체 군별로 비교 시에도 수술 전후에 유의한 변화는 나타나지 않았다(p=0.424, 0.694, 0.190: Acrysof SA60AT, Acrysof IQ, Tecnis® ZCB00 순).

Acrysof SA60AT를 제외한 두 비구면 인공수정체는 수술 전 각막 구면수차와 수술 후 안구 구면수차를 비교하였을 때 각각 0.185 ± 0.071 µm (Acrysof IQ), 0.311 ± 0.092 µm (Tecnis® ZCB00)의 구면수차를 상쇄하는 효과를 보였다(두 군 모두 p<0.001). Acrysof IQ 인공수정체를 사용한 환자의 수술 전후 각막지형도 및 수술 후 Wavescan 수차계 측정결과를 Fig. 1에 제시하였다.

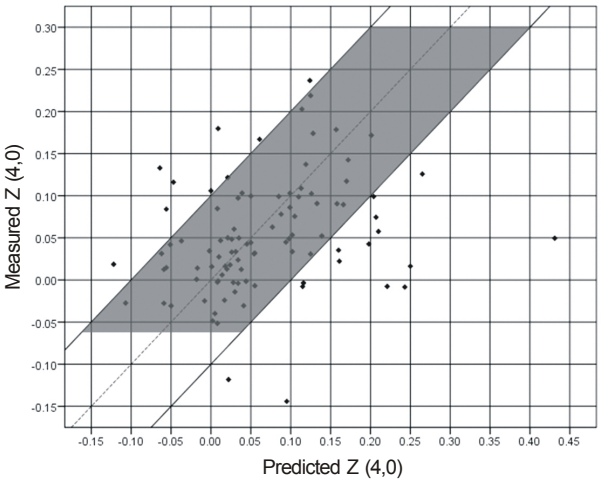

Figure 3. Predicted versus measured postoperative wavefront spherical aberration for the entire study population. Note the central gray area that the absolute errors are less than 0.1 μm.

수술 후 전체 집단의 절대오차는 0.068 ± 0.067 μm이었고, Acrysof SA60AT군의 절대오차는 0.092 ± 0.074 μm, Tecnis® ZCB00군은 0.067 ± 0.075 μm, Acrysof IQ군은 0.054 ± 0.048 μm였다. 세 군 간의 절대오차는 유의한 차이가 없었다 (p=0.089, one way ANOVA). 수술 후 예상 안구 구면수차와 실측 안구 구면수차를 Fig. 3에 산점도로 표기하였다. 전체 환자 중 53.6%에서는 절대오차가 0.050 μm 이내였으며, 75.3%에서는 0.100 μm 이내로 확인되었다.

고 찰

각막 및 수정체 광학에 대한 연구가 진행되면서, 파면분석을 이용한 고위수차의 분석 및 이에 대한 수술적 교정이 시도되었다. 이러한 시도는 먼저 각막 굴절교정수술에서 시도되었고,[11-13] 이후 백내장 수술에도 점차 확대되었다.

고위수차 중에서도 구면수차를 비구면 인공수정체를 이용한 수술로 감소시킨 후에 시력의 질을 개선하는 시도들이 보고되었다. 이미 Guirao et al[25]은 각막 구면수차가 노화와 함께 증가함을 밝혔으며, Uchio et al[26]이 구면수차에 따른 인공수정체 선택이 빛 번짐 등 시력의 질에 영향을 줄 수 있는 가능성을 제시하였다. Yamaguchi et al[27]은 수술 후 구면수차가 대비 민감도와 유의하게 음의 상관관계를 가짐을 발표하였다. Beiko[28]는 Tecnis 인공수정체를 이용한 수술 시 +0.10 μm로 구면수차를 남기는 경우가 목표값을 0 μm로 설정할 때보다 수술 후 대비감도가 더 우월하다고 보고하였다. 그러나 Wang and Koch[29]는 구면수차의 수술 후 목표를 0 μm로 설정하고 수술 시 시력의 질이 개선됨을 보고하였다. 또한 보편적으로 많은 연구에서 수술 후 목표 구면수차를 0으로 설정하고 있으므로, 본 연구에서 역시 수술 후 목표값을 0 μm로 설정 후 적절한 인공수정체를 채택하기로 결정하였다.

연구 방법에서 기술한 대로 수술 전 각막 구면수차에 따라 인공수정체를 선택하는 것을 원칙으로 하였다. 그러나 각막지형도에서 부정난시가 있는 경우, 헤르페스 각막염 등 각막의 염증성 질환을 앓은 병력이 있는 경우에는 비구면 인공수정체의 효과가 좋지 않을 것이 예상되므로, 구면 인공수정체를 삽입하였을 때 각막수차의 변화가 없다는 것을 확인하기 위하여 각막 구면수차에 상관없이 구면 인공수정체를 삽입하였다. 또한, 구면 인공수정체를 선택해 반대안의 각막 구면수차가 커서 Tecnis® ZCB00를 삽입하여 Acrysof IQ를 사용하면 양안 인공수정체 색이 달라지는 경우 등에서는 각막 구면수차가 +0.100 μm 이상인 경우에도 Acrysof SA60AT를 사용하였기 때문에 수술 전 Acrysof SA60AT군의 평균 각막 구면수차가 +0.119 μm로 +0.100 μm 보다 크게 측정되었다.

술 후 최대교정시력은 수술 전에 비하여 세 인공수정체 사용군에서 모두 향상되었다. 비구면 인공수정체 사용 시 Acrysof IQ 삽입군에서 0.185 ± 0.071 μm, Tecnis® ZCB00 삽입군에서 0.311 ± 0.092 μm의 수술 전 각막 구면수차 보정효과를 보였다. 또한 91.8%의 수술안에서 수술 후 전체 안구 구면수차가 0.15 μm 이내로 측정되었다.

Acrysof IQ의 경우 기존에 해외에 보고된 수술 후 임상결과가 많은 편이나, Tecnis® ZCB00를 사용한 연구는 많지 않은 편이다. 이에 기존 연구 중 Tecnis® ZCB00는 Z9000/2/3 등 3-piece IOL을 사용한 경우와 비교하였다. Tecnis® 3-piece IOL의 경우도 인공수정체의 구면수차는 -0.27 μm로 Tecnis® ZCB00와 같다. 그러나 기존 연구에서 비구면 인공수정체의 수차 교정량은 명확히 제시되지 않고, 수술 전후의 각막수차 및 수술 후 전체 안구 구면수차만을 보고한 경우가 대부분이어서 수술 후 안구 구면수차를 비교하였다.

먼저 Awwad et al[30]은 Acrysof IQ삽입군에서 수술 후 안구 구면수차가 0.09 ± 0.04 μm로 구면 인공수정체인 Acrysof SN60AT (Alcon Inc.)에 비해 유의하게 낮음을 보고하였다. 수술 후 안구 구면수차가 본 연구의 Acrysof IQ삽입군에서 더 낮게 측정된 것은 본 연구에서 수술 전에 각막 구면수차가 +0.235 μm보다 큰 군은 주로 Tecnis® ZCB00삽입군으로 선택되었고, 그보다 작은 군에서만 Acrysof IQ삽입군에 포함되었기 때문으로 생각한다. Packer et al[4]은 본 연구와 비슷하게 수술 전 각막 구면수차가 +0.100 μm 미만인 경우 구면렌즈인 SofPort Advanced Optics (AO) (LI61AO; Bausch & Lomb, San Dimas, CA, USA), +0.100 μm 이상 +0.235 μm 미만인 경우 Acrysof IQ, +0.235 μm 이상인 경

우 Tecnis® Z9003 인공수정체를 선택하였다. 수술 후 안구 구면수차를 전체 군은 -0.013 ± 0.072 μm, Acrysof IQ삽입군 +0.010 ± 0.053 μm, Tecnis® Z9000 삽입군 -0.015 ± 0.052 μm로 보고하였다. Caporossi et al[31]은 5-mm pupil에서 측정한 수술 후 구면수차를 Tecnis® Z9000군 0.05 ± 0.006 μm, Acrysof IQ군 +0.11 ± 0.010 μm로 보고하였다. 개개인의 차이(특히 기존 서양 연구와 인종 간 차이), 검사 조건 및 장비, 수술법의 다양성 때문에 직접적인 비교는 어려우나, 기존 연구와 구면수차 감소에 대한 동향은 본 연구에서도 비슷하게 확인되었다. Kasper et al[32]은 Tecnis® ZCB00군에서의 수술 후 구면수차를 +0.017 μm로 보고하였으나, 표준편차는 제시하지 않았다. Denoyer et al[15]의 경우 Tecnis® ZCB00군에서 수술 후 구면수차를 +0.03 ± 0.06 μm로 보고하였다. 기존에 여러 가지 연구들에 대한 메타분석은 아직까지는 없는 실정이다.

본 연구의 목적인 맞춤 수술의 결과 평가의 일환으로 절대오차를 계산하였다. 수술 후 전체 집단의 절대오차는 0.068 ± 0.067 μm이었다. Packer et al[4]은 절대오차를 전체 0.058 ± 0.056 μm, Acrysof IQ군 0.052 ± 0.040 μm, Tecnis® ZCB00군 0.063 ± 0.066 μm로 보고하였다. 본 연구와 마찬가지로 Acrysof IQ군과 Tecnis® ZCB00군의 절대오차는 유의한 차이가 없었다.

예측오차를 계산할 때 다음과 같은 점을 염두에 두어야 한다: 수술 후 동공의 크기, 인공수정체의 기울어짐 또는 이탈, 수술로 유도된 각막 구면수차.

기본적으로 수술 후 안구 구면수차의 예측은 수술 전 6-mm optical zone의 각막 구면수차 Z (4,0)에 각 인공수정체의 알려진 Z (4,0)를 더하여 단순 계산하였다. 그러나, 수술 후 실제 빛이 통과하는 틈새는 수술 시 시행한 원형전낭절개 크기의 영향이 크고 이는 미리 예측할 수 없이 개인차가 큰 부분이므로 오차에 큰 영향을 끼치지만, 실제로 어느 정도의 오차가 이 때문에 발생하는지 현실적으로 파악하기 어렵다. 동공 크기의 경우는 본 연구에서 박명시 조건에서 Wavescan 수차계를 촬영했으므로 실제로 구면수차가 환자의 시력의 질에 큰 영향을 주는 시간대의 동공상태에서의 안구 구면수차와 그에 따른 교정량 계산이 잘 반영되었다고 해석할 수 있다.

본 연구에서는 수술 시 인공수정체 이탈을 유발할 만한 원형전낭절개의 문제가 있거나 실제로 수술 후 세극등현미경 검사에서 뚜렷한 중심이탈이 발견된 경우는 제외하였다. 그러나 Scheimpflug photography와 같은 정밀한 측정장비를 사용하지 못한 점은 본 연구의 단점으로 지적할 수 있다. 다만 Tecnis® ZCB00[33]나 Acrysof IQ[34]의 중심이탈 및 기울어짐에 관련된 연구에서 이 인공수정체들은 uncomplicated cataract surgery 시 구면 인공수정체와 비교하여 유의하게 문제되는 중심이탈을 보이지 않았고, 본 연구의 환자군도 centration이나 tilt에 문제가 발생한 경우는 제외된 uncomplicated surgery로 이루어졌으므로 기존에 보고된 중심이탈의 정도가 유의하게 크지 않을 것으로 예상된다. 또한 Piers et al[35]은 기울어짐 또는 이탈에 의한 비구면 렌즈의 기능저하를 고려할 때, 0.8 mm 이탈이나 10° 기울임, 15° 회전까지의 범위는 예민하게 느끼기 어렵다고 보고하였다. 이에 본 연구에서 인공수정체의 기울임이나 이탈이 수술 후 구면수차에 중대한 영향을 미치지는 않을 것으로 판단된다.

수술로 인한 각막 구면수차의 변화 역시 어느 정도 일어날 것으로 예상되며, 이는 예측오차에 어느 정도 영향을 주는지 알아보기 위해 수술 후 각막 구면수차를 함께 측정하였다. Guirao et al[36]은 이미 평균적으로 3.5 mm 투명각막절개와 일초점 인공수정체삽입술을 시행했을 경우 수술로 유도되는 6-mm optical zone 각막 구면수차(surgically induced spherical aberration)를 0.03 ± 0.17 μm로 보고하였다. 본 연구에서는 수술 후 전체 각막 구면수차는 0.232 ± 0.121 μm로, 수술 전 각막 구면수차와 유의한 차이는 없었고 (p=0.199), 각 인공수정체 군마다 따로 비교한 경우에도 모두 유의한 변화가 없었다. 각 환자에서 수술 전후 각막 구면수차의 차이를 계산해 보면 0.01 ± 0.07 μm로 Guirao et al[36]이 보고한 값보다 적었다. 이는 3.5 mm가 아닌 2.75 mm 절개를 시행하였기 때문에 각막 주는 영향이 적었다고 생각할 수 있다.

본 연구의 제한점으로는 일괄적으로 같은 수술 전후의 각막지형도 검사와, 수술 후 Wavescan 파면분석을 시행하였으므로 개인별로 다른 동공의 크기에 대한 고려가 불가능했다는 점, 수술 3개월 후 경과관찰을 하였으므로 충분히 오랜 시간 후의 평가가 되지 않았다는 점, 실제로 환자가 주관적으로 느끼는 시력의 질을 평가하기 위한 설문조사나 대비 민감도, 빛번짐 검사 등을 시행하지 못한 점을 들 수 있다. 다만, 기존에 구면수차를 포함한 고위수차 교정 시에 시력의 질 향상에 대한 기존 보고를 참고할 때,[26,27,36] 본 연구의 환자들도 시력의 질에 도움을 얻었음을 간접적으로 추론할 수 있다. 추가적인 제한점으로, 환자의 angle of Kappa가 큰 경우에는 인공수정체와 원형전낭절개의 중심에 대한 오차가 클 수 있으나, 실제로 연구 설계 시 이에 대한 점이 고려되지 못한 점도 꼽을 수 있다.

결론적으로 수술 전 각막 구면수차를 고려하여 구면 또는 비구면 인공수정체를 개인마다 맞추어 선택적으로 이용한 백내장 수술은 효과적으로 안구 구면수차를 감소시킬 수 있으며, 이는 백내장 치료에서 시력의 질 향상에 이바지할 수 있을 것으로 생각한다. 그러나 백내장 수술에서 사용

되는 인공수정체는 종류가 매우 다양한 만큼, 이에 대한 추가적인 연구가 향후 필요할 것이다.

REFERENCES

1) Desai P, Minassian DC, Reidy A. National cataract surgery survey 1997-8: a report of the results of the clinical outcomes. Br J Ophthalmol 1999;83:1336-40.
2) Steinberg EP, Tielsch JM, Schein OD, et al. National study of cataract surgery outcomes. Variation in 4-month postoperative outcomes as reflected in multiple outcome measures. Ophthalmology 1994;101:1131-40; discussion 1140-1.
3) Zhao J, Ellwein LB, Cui H, et al. Prevalence and outcomes of cataract surgery in rural China the China nine-province survey. Ophthalmology 2010;117:2120-8.
4) Packer M, Fine IH, Hoffman RS. Aspheric intraocular lens selection based on corneal wavefront. J Refract Surg 2009;25:12-20.
5) Ruttig NJ, Jancevski M, Shah SA. Evaluating wavefront analysis application in intraocular lens placement. Curr Opin Ophthalmol 2008;19:309-13.
6) Solomon JD. Outcomes of corneal spherical aberration-guided cataract surgery measured by the OPD-scan. J Refract Surg 2010;26: 863-9.
7) Harris WF. Optimal target refraction for implantation of monofocal intraocular lenses. Acta Ophthalmol 2012;90:e75-6; author reply e75.
8) de Vries NE, Webers CA, Montés-Micó R, et al. Visual outcomes after cataract surgery with implantation of a +3.00 D or +4.00 D aspheric diffractive multifocal intraocular lens: Comparative study. J Cataract Refract Surg 2010;36:1316-22.
9) Lane SS, Javitt JC, Nethery DA, Waycaster C. Improvements in patient-reported outcomes and visual acuity after bilateral implantation of multifocal intraocular lenses with +3.0 diopter addition: multicenter clinical trial. J Cataract Refract Surg 2010;36: 1887-96.
10) Packer M, Chu YR, Waltz KL, et al. Evaluation of the aspheric tecnis multifocal intraocular lens: one-year results from the first cohort of the food and drug administration clinical trial. Am J Ophthalmol 2010;149:577-84.e1.
11) Amano S, Amano Y, Yamagami S, et al. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations. Am J Ophthalmol 2004;137:988-92.
12) Denoyer A, Denoyer L, Marotte D, et al. Intraindividual comparative study of corneal and ocular wavefront aberrations after biaxial microincision versus coaxial small-incision cataract surgery. Br J Ophthalmol 2008;92:1679-84.
13) Yeu E, Wang L, Koch DD. The effect of corneal wavefront aberrations on corneal pseudoaccommodation. Am J Ophthalmol 2012; 153:972-81.e2.
14) Chantra S, Pachimkul P, Naripthaphan 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.
15) Denoyer A, Le Lez ML, Majzoub S, Pisella PJ. Quality of vision after cataract surgery after Tecnis Z9000 intraocular lens implantation: effect of contrast sensitivity and wavefront aberration improvements on the quality of daily vision. J Cataract Refract Surg 2007;33:210-6.
16) Iseli HP, Jankov M, Bueeler M, et al. Corneal and total wavefront aberrations in phakic and pseudophakic eyes after implantation of monofocal foldable intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2006;32:762-71.
17) Packer M, Fine IH, Hoffman RS. Wavefront technology in cataract surgery. Curr Opin Ophthalmol 2004;15:56-60.
18) Yu AY, Wang QM, Sun J, et al. Spherical aberration after implantation of an aspheric versus a spherical intraocular lens in high myopia. Clin Experiment Ophthalmol 2009;37:558-65.
19) Rocha KM, Vabre L, Chateau N, Krueger RR. Expanding depth of focus by modifying higher-order aberrations induced by an adaptive optics visual simulator. J Cataract Refract Surg 2009;35:1885-92.
20) Hickenbotham A, Tiruveedhula P, Roorda A. Comparison of spherical aberration and small-pupil profiles in improving depth of focus for presbyopic corrections. J Cataract Refract Surg 2012;38:2071-9.
21) 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.
22) Assaf A, Kotb A. Ocular aberrations and visual performance with an aspheric single-piece intraocular lens: contralateral comparative study. J Cataract Refract Surg 2010;36:1536-42.
23) Kim YJ, Cheon MH, Ko DA, et al. Clinical outcome of in-the-bag single-piece aspheric intraocular lens implantation after microincision cataract surgery. J Korean Ophthalmol Soc 2013;54:595-601.
24) Lee K, Yoon MH, Seo KY, et al. Comparisons of clinical results after implantation of three aspheric intraocular lenses. J Korean Ophthalmol Soc 2013;54:1213-8.
25) Guirao A, Redondo M, Artal P. Optical aberrations of the human cornea as a function of age. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 2000;17:1697-702.
26) Uchio E, Ohno S, Kusakawa T. Spherical aberration and glare disability with intraocular lenses of different optical design. J Cataract Refract Surg 1995;21:690-6.
27) Yamaguchi T, Dogru M, Yamaguchi K, et al. Effect of spherical aberration on visual function under photopic and mesopic conditions after cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2009;35: 57-63.
28) Beiko GH. Personalized correction of spherical aberration in cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2007;33:1455-60.
29) Wang L, Koch DD. Custom optimization of intraocular lens asphericity. J Cataract Refract Surg 2007;33:1713-20.
30) Awwad ST, Lehmann JD, McCulley JP, Bowman RW. A comparison of higher order aberrations in eyes implanted with AcrySof IQ SN60WF and AcrySof SN60AT intraocular lenses. Eur J Ophthalmol 2007;17:320-6.
31) Caporossi A, Martone G, Casprini F, Rapisarda L. Prospective randomized study of clinical performance of 3 aspheric and 2 spherical intraocular lenses in 250 eyes. J Refract Surg 2007;23: 639-48.
32) Kasper T, Bühren J, Kohnen T. Visual performance of aspherical and spherical intraocular lenses: intraindividual comparison of visual acuity, contrast sensitivity, and higher-order aberrations. J Cataract Refract Surg 2006;32:2022-9.
33) Mester U, Sauer T, Kaymak H. Decentration and tilt of a single-piece aspheric intraocular lens compared with the lens position

in young phakic eyes. J Cataract Refract Surg 2009;35:485-90.
34) Lee JY, Lee SH, Chung SK. Decentration, tilt and anterior chamber depth: aspheric vs spheric acrylic intraocular lens. J Korean Ophthalmol Soc 2009;50:852-7.
35) Piers PA, Weeber HA, Artal P, Norrby S. Theoretical comparison of aberration-correcting customized and aspheric intraocular lenses. J Refract Surg 2007;23:374-84.
36) Guirao A, Tejedor J, Artal P. Corneal aberrations before and after small-incision cataract surgery. Invest Ophthalmol Vis Sci 2004; 45:4312-9.

= 국문초록 =

각막 구면수차의 교정을 동반한 백내장 수술의 임상 결과 분석

목적: 수술 전 각막지형도로 알아낸 구면수차를 고려하여 비구면 혹은 구면 인공수정체를 선택하여 백내장 수술을 시행하였을 때 수술 전후 구면수차의 변화를 분석하고자 한다.
대상과 방법: 2011년 2월부터 2012년 10월까지 한 명의 술자에게 수정체초음파유화술 및 낭내 후방 인공수정체 삽입술을 시행 받은 68명 97안을 분석하였다. 수술 전 ATLAS 9000 각막지형도를 이용하여 각막 구면수차를 분석하였으며 수술 후 목표 구면수차를 0 μm로 설정하고 다음 중 적절한 인공수정체를 선택하였다: Acrysof SA60AT (n=25), Acrysof IQ (n=36), Tecnis® ZCB00 (n=36). 수술 3개월 후 WaveScan 수차계 및 ATLAS 9000 각막지형도를 이용해 안구 및 각막 구면수차를 다시 측정하였고 수술 전에 예측한 수술 후 안구 구면수차와 실측된 안구 구면수차의 절대오차를 계산하였다.
결과: 수술 전 전체 평균 각막 구면수차는 0.241 μm이었고 수술 후 전체 평균 각막 구면수차는 0.232 μm였다(p=0.199). 수술 후 안구 구면수차는 0.051 μm였다. 각 그룹의 술후 안구 구면수차는 각각 0.095 μm, 0.034 μm, 0.037 μm로 사용된 두 비구면 인공수정체는 각각 0.185 μm (Acrysof IQ), 0.311 μm (Tecnis® ZCB00)의 구면수차를 상쇄하는 효과를 보였다. 세 군 간의 절대오차는 유의한 차이가 없었다(p=0.089).
결론: 수술 전 각막 구면수차를 고려한 인공수정체 선택으로 구면수차를 효과적으로 감소시킬 수 있다.
〈대한안과학회지 2014;55(6):809–816〉