

# 백내장 수술 후 난시교정용 인공수정체를 이용한 난시 교정 효과

## Effect of Toric Intraocular Lens Implantation on Astigmatism in Cataract Surgery

차용재<sup>1</sup> · 김미금<sup>1,2</sup> · 위원량<sup>1,2</sup>

Yong Jae Cha, MD<sup>1</sup>, Mee Kum Kim, MD, PhD<sup>1,2</sup>, Won Ryang Wee, MD, PhD<sup>1,2</sup>

서울대학교 의과대학 서울대학교병원 안과학교실<sup>1</sup>, 서울대학교 의과대학 서울대학교병원 의생명연구원<sup>2</sup>

Department of Ophthalmology, Seoul National University Hospital, Seoul National University College of Medicine<sup>1</sup>, Seoul, Korea  
Biomedical Research Institute, Seoul National University Hospital, Seoul National University College of Medicine<sup>2</sup>, Seoul, Korea

**Purpose:** To evaluate the efficacy of Tecnis<sup>®</sup> toric intraocular lens (IOL) implantation for the correction of astigmatism and rotational stability during cataract surgery in patients with cataract and astigmatism.

**Methods:** We prospectively analyzed 17 eyes of 14 patients with 1 to 4 diopters (D) of corneal astigmatism who underwent phacoemulsification and Tecnis<sup>®</sup> toric IOL implantation at Seoul National University Hospital from June 2013 to May 2014. Informed consent was obtained from all participants before the clinical trial. We evaluated the changes in visual acuity, refraction, astigmatism, IOL axis and higher order aberration for 3 months postoperatively. Power vector analysis was used to analyze astigmatism.

**Results:** The mean uncorrected visual acuity (log MAR) significantly improved from  $0.58 \pm 0.34$  to  $0.26 \pm 0.43$  at 3 months postoperatively. The mean refractive astigmatism was significantly decreased by 77.9% from a mean value of  $-2.67 \pm 0.89$  D to  $-0.59 \pm 0.48$  D at 3 months postoperatively. According to power vector analysis, M, B, J<sub>0</sub>, and J<sub>45</sub> were significantly reduced after the surgery. The mean difference between achieved and intended IOL axis was 3.26 degrees clockwise at postoperative 3 months, which was statistically insignificant. Most of the rotational changes were observed within a month after the surgery.

**Conclusions:** Phacoemulsification and Tecnis<sup>®</sup> toric IOL implantation in patients with cataracts and astigmatism showed efficacy for the correction of astigmatism and rotational stability.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(10):1544-1551

**Key Words:** Astigmatism, Cataract, Tecnis<sup>®</sup> toric IOL, Vector analysis

최근에는 백내장 수술 후 시력 개선에 대한 환자의 요구

도가 높아지고, 또한 기술의 발달에 힘입어 다양한 인공수정체가 개발되면서, 난시 및 노안의 병합 교정에 대한 관심이 증가하고 있다.<sup>1,2</sup> 특히 백내장 환자에서 각막 난시가 1.25D 이상인 인구가 22-27%임을 고려하면,<sup>3,4</sup> 각막 난시가 1.25D 이상의 환자에서 단순히 백내장 수술과 일반 인공수정체를 삽입하는 경우 수술 후 안경 교정이 필요할 가능성이 높고, 이로 인한 환자 만족도가 저하될 우려가 백내장 수술이 필요한 인구의 약 4분의 1에서 발생할 수 있음을 예측할 수 있다.

백내장 수술과 병합한 난시 교정으로는 각막윤부이완절개술의 병합이 가능하며, 난시교정용 인공수정체 삽입 또

■ Received: 2015. 3. 20.      ■ Revised: 2015. 6. 24.

■ Accepted: 2015. 9. 22.

■ Address reprint requests to **Mee Kum Kim, MD, PhD**  
Department of Ophthalmology, Seoul National University Hospital, #101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea  
Tel: 82-2-2072-2665, Fax: 82-2-741-3187  
E-mail: kmk9@snu.ac.kr

\* This study was presented as a narration at the 111th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2014.

\* This study was supported for grant by Abbott Medical Optics (AMO, Santa Ana, CA, USA) (grant number 06-2013-3210).

© 2015 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.

는 각막에 굴절교정각막절제술을 시행할 수 있다. 이 중 굴절교정각막절제술은 난시교정 효과는 우수하나 백내장 수술과 동시에 하기가 어렵고 추후 시행해야 하는 불편함이 있고,<sup>5</sup> 백내장 수술과 동시에 시행이 가능한 각막윤부이완절개술 병합 또는 난시교정용 인공수정체 삽입술이 많이 시행되고 있다.<sup>6-11</sup> 각막윤부이완절개술보다는 난시교정용 인공수정체 삽입술이 교정 효과가 더 우수한 것으로 보고되고 있으며,<sup>9</sup> 비교적 초기에 널리 공급된 회절형의 AcrySof<sup>®</sup> toric IOL (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)의 교정 효과가 국내외에서 많이 보고되었다.<sup>11,12</sup>

난시교정용 인공수정체의 난시 교정 효과는 여러 가지 요인에 의해서 영향을 받는데,<sup>13</sup> 술전 난시 검사의 오차,<sup>14,15</sup> 인공수정체 축의 회전,<sup>16,17</sup> 각막 후면난시<sup>18</sup> 등이 영향을 줄 수 있고, 도수 결정 시 반영되는 전방 깊이 및 각막 굴절력, 안구축장<sup>19</sup> 등이 영향을 줄 수 있다. AcrySof<sup>®</sup> toric IOL은 난시 인공수정체 도수 결정 프로그램에 안구축장, 전방 깊이가 반영되어 있지 않아, 교정 효과에 영향을 줄 수 있음이 밝혀지면서,<sup>10</sup> 최근 개발되어 난시 도수결정 프로그램에 안구축장이 반영된 Tecnis<sup>®</sup> ZCT toric IOL (Abbott Medical Optics, Santa Ana, CA, USA)의 난시교정 효과가 국외에 보고되었다.<sup>20</sup> 그러나 전체적인 보고가 아직은 많지 않아 컨센서스가 확립되어 있지 않고 또 국내에는 전혀 보고가 없어 Tecnis<sup>®</sup> ZCT toric IOL의 난시교정 효과에 대한 증거를 축적하고자 전향적 연구를 진행하였다.

## 대상과 방법

본 연구는 전향적 연구로 헬싱키선언을 준수하여 시행되었고, 서울대학교병원 임상시험 심사위원회의 심의 및 승인을 받았다(IRB number: 1305-011-485). 서울대학교병원에서 2013년 6월부터 2014년 5월까지 임상시험 설명 후 자발적 동의를 받았으며, 백내장 수술이 필요한 환자를 대상으로 하였다. 연구 포함 기준은 21세 이상의 노년성 백내장 환자 중 자동굴절검사계(Automated refractor, KR890, TOPCON, Tokyo, Japan) 및 IOL-Master (Carl Zeiss, Meditec AG, Jena, Germany)의 각막굴절계로 측정된 각막 난시가 1-4디옵터(diopter, D) 이내의 환자를 대상으로 하였다. 임부, 수유부, 수정체 낭의 안정성에 영향을 줄 수 있는 기타 다른 질환이 있는 경우(거짓비늘증후군, 녹내장, 외상성 백내장, Marfan 증후군 등), 피험자 중 스스로 동의를 읽을 수 없는 자와 연구기간 동안 예정된 경과관찰 및 검사를 받지 못한 경우는 대상에서 제외하였다. 환자군은 총 14명(17안)이었으며, 한 명의 술자(K.M.K)에 의하여 초음파유화술 및 Tecnis<sup>®</sup> ZCT toric IOL (a single-piece toric

hydrophobic acrylic IOL, Abbott Medical Optics, Santa Ana, CA, USA) 후낭삽입술을 시행 받았고, 포함된 모든 환자에서 수술 시 합병증은 발생하지 않았다.

대상 수 산출에 필요한 수치를 확인하기 위해 “난시교정 인공수정체 삽입 후 임상 결과”<sup>12</sup>를 근거로 표준편차를 2.92로 가정하였으며, 허용오차는 1.5로 설정하고 연구대상수를 산출하여, 산출된 연구대상 수는 15안으로 탈락률을 10%로 고려하여 17안이었다.

대상 환자는 수술 전에 나안시력 및 최대교정시력(logMAR), 자동굴절검사(Automated refractor, KR890, TOPCON), 세극등현미경검사, 안저검사, IOL master 및 A-scan (Quantel medical, Clemont-Ferrand, France)을 이용한 인공수정체 도수 측정 검사, 각막지형도 및 고위수차(Orbscan II, Bausch and Lomb Inc., Rochester, NY, USA)를 시행하였다.

## 인공수정체

Tecnis<sup>®</sup> toric IOL은 아크릴 재질의 접합형 연성 인공수정체인데, 앞면이 난시를 교정할 수 있는 toric 비구면이다. 인공수정체의 도수를 결정하기 위하여 숙련된 검사자를 통하여 A-scan (Quantel medical, Clemont-Ferrand, France)과 IOL master (Carl Zeiss, Meditec AG, Jena, Germany)를 이용하여 안구축장을 3회 측정하였고, 인공수정체 도수를 구하는 공식에서 A값은 A scan은 118.8, IOL master는 119.3을 이용하였다. 각막 곡률과 각막 난시의 측정은 자동굴절검사계(Automated refractor, KR890, TOPCON), IOL Master (Carl Zeiss, Meditec AG, Jena, Germany) 및 각막 지형도(Orbscan II, Bausch and Lomb Inc., Rochester, NY, USA)를 이용하여 각각 3회 측정하였으며, 각 검사의 굴절력, 난시 축 및 난시 양의 3회 평균값을 이용하였다.

Tecnis<sup>®</sup> toric 인공수정체의 종류 및 삽입 축은 toric IOL calculator 프로그램(<https://www.amoeasy.com/calc>)에 각막곡률, 절개 방향, 수술로 인하여 유발되는 각막 난시(surgically-induced astigmatism, SIA), 인공수정체의 spherical power, 안축장 등을 포함한 환자의 정보를 입력하여 산출되는 결과에 따라 결정하였다. 위에서 언급한 세 가지 검사의 평균 굴절력을 각각 대입하여 얻은 결과 중 검사 간 일치도가 높으면서(세 가지 중 2개 이상 일치하는 값) 가장 난시가 0에 근접하고, 축은 방향이 변하지 않는 값으로 인공수정체 난시 도수를 선정하여 과교정을 피하고자 하였다. 각막 절개 방향은 steep-on axis로 시행하였고(직난시: 상측, 도난시: 이측), 상측 각막 절개의 경우(직난시) 과교정을 피하기 위해 SIA를 0.5로 설정하였고, 이측 각막 절개의 경우(도난시) 부족교정을 줄이기 위해 SIA를 0으로 설정하였다.

## 수술 방법

기준 표지자는 수술 직전 환자를 세극등현미경 앞에 앉혀 정면을 보게 한 상태에서 얼굴의 위치가 기울어지지 않았는지 확인한 후, 각막 윤부의 3시, 9시 방향에 기준점을 표시했다. 수술 중 환자가 누운 후에 Mendez ring (K3-7900, Katena)과 toric axis marker (K3-7910, Katena)를 이용하여 목표 난시축을 표시하였다. 모든 수술은 숙련된 한 명의 술자(K.M.K)에 의해 이루어졌으며, 각막에 2.8 mm의 각막절개 (clear corneal incision)를 시행하고, Infinity Vision System® (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)과 OZil™ Torsional Handpiece (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)를 이용하여 수정체유화술을 시행하였다. Monarch injector (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)로 인공수정체를 후낭에 삽입하였다. 점탄 물질을 제거 후 toric axis marker (K3-7910, Katena)로 축 방향을 다시 확인하였으며, 인공수정체를 회전시켜 미리 표시해 둔 표지자 (marking)를 기준으로 인공수정체의 축을 원하는 방향으로 교정하였다. 수술을 마칠 때 각막 봉합술은 시행하지 않았고, 수술 중 후낭 파열 등의 합병증은 발생하지 않았다.

## 수술 후 검사

수술 후 1일, 1주, 1달, 3달에 나안 시력과 최대교정시력 (logMAR), 굴절 이상의 변화, 인공수정체 축 위치 변화, 그리고 고위 수차의 변화를 분석하였다. 난시의 벡터 분석은 Cartesian astigmatism ( $J_0$ )과 oblique astigmatism ( $J_{45}$ )을 이용한 power vector 분석법을 통해  $M=S+C/2$ ,  $J_0=(-C/2) \times \cos 2\theta$ ,  $J_{45}=(-C/2) \times \sin 2\theta$ ,  $B = \sqrt{(M^2 + J_0^2 + J_{45}^2)}$ 와 같은 변수들을 이용하여 분석하였다.<sup>21</sup> 인공수정체의 회전안정성(축의 변화)에 대한 분석은 다음과 같이 시행하였다. 수술 후 1주, 1달과 3달째에 수술한 눈을 산동시킨 후, 환자를 세극등현미경 앞에 앉혀 가능한 최대한 똑바로 정면을 보게 하여 역조명을 비추어 전안부 사진을 촬영하였다. Image J 소프트웨어를 이용하여 모든 사진에서 인공수정체 면에 표시되어 있는 기준 표지자(reference marks)를 참고하여 두 표식을 서로 잇는 선을 그려 원래 의도하였던 삽입 축과 인공수정체가 실제로 삽입된 축의 차이를 분석하였다(Fig. 1). 모든 사진은 무작위로 선택하여 검사자의 편견이 개입되지 않도록 하였다.

## 통계 분석 방법

통계 분석은 SPSS 21.0 (IBM Inc., Armonk, NY, USA) 통계프로그램을 이용하여 수술 전과 후의 차이에 대하여 Wilcoxon's signed ranks test, Independent student *t*-test 등을 사용하였다. 모든 통계 분석에서 유의도(*p*-value)는 0.05

미만인 경우만을 통계적으로 유의한 것으로 설정하였다.

## 결 과

총 17안 14명의 환자들의 평균 나이는 64.5(32-84)세였으며, 총 17안 중 남자가 4안, 여자가 13안이었고, 우안이 9안, 좌안이 8안이었다. 술전 시력 및 굴절력, 각막 난시, 안축장은 Table 1에 제시하였다.

### 시력

나안시력(logMAR)은 수술 전 평균  $0.58 \pm 0.34$ 에서 수술 후 1주에  $0.22 \pm 0.33$ , 수술 후 1개월에는  $0.21 \pm 0.33$ , 그리고 수술 후 3개월에  $0.26 \pm 0.43$ 으로 각각의 경과 관찰 시기에 모두 수술 전에 비해 유의하게 호전되었다( $p=0.023$ ,  $p=0.013$ ,  $p=0.033$ , Independent student *t*-test; Fig. 2).

### 굴절이상의 변화 및 고위 수차

평균 굴절난시는 수술 전  $-2.67 \pm 0.89D$ 였으며, 수술 후

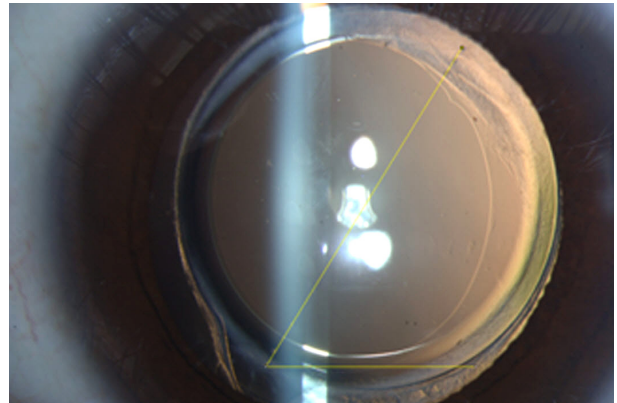


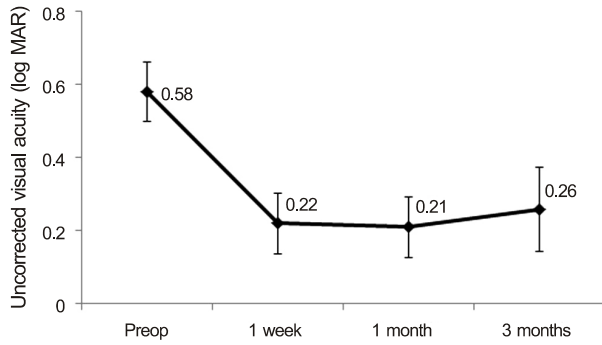
Figure 1. Image analysis for the rotation of the cylindrical axis on the toric intraocular lens.

Table 1. Demographics and preoperative status of the enrolled patients

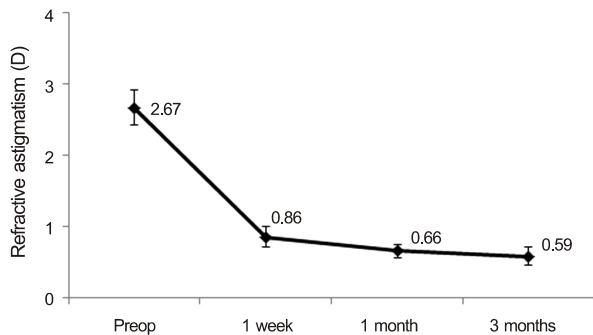
Demographics	Data
No. of eyes (patients)	17 (14)
Mean age (years, range)	64.5 (32-84)
Sex (male:female)	4:13
Laterality (right:left)	9:8
UCVA (log MAR)	$0.58 \pm 0.34$
Spherical equivalent (diopters)	$-0.65 \pm 3.52$
Axial length (mm)	$24.08 \pm 1.26$
WTR versus ATR	10:7

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated. UCVA = uncorrected visual acuity; WTR = with the rule; ATR = against the rule.

1주에  $-0.85 \pm 0.54D$ , 수술 후 1개월에  $-0.66 \pm 0.39D$ , 그리고 수술 후 3개월에는  $-0.59 \pm 0.48D$ 로 수술 전에 비해 유의하게 줄어들었다( $p=0.008$ ,  $p=0.002$ ,  $p=0.003$ , Wilcoxon's signed-ranks test; Fig. 3). 굴절 난시의 변화는 수술 후 1개월부터 안정적으로 유지됨이 관찰되었다. 평균 각막 난시는 수술 전  $-1.85 \pm 0.56D$ 였으며,  $-1.64 \pm 0.53D$ , 수술 후



**Figure 2.** Changes in visual acuity. There were statistically significant improvements in visual acuity at postoperative 1 week, 1 month, and 3 months compared with pre-operative values. log MAR = logarithm of the minimum angle of resolution; Preop = preoperative.



**Figure 3.** Change in refractive astigmatism. There were statistically significant decreases in refractive astigmatism at postoperative 1 week, 1 month, and 3 months compared with pre-operative values. Preop = preoperative.

**Table 2.** Vector analysis of astigmatism

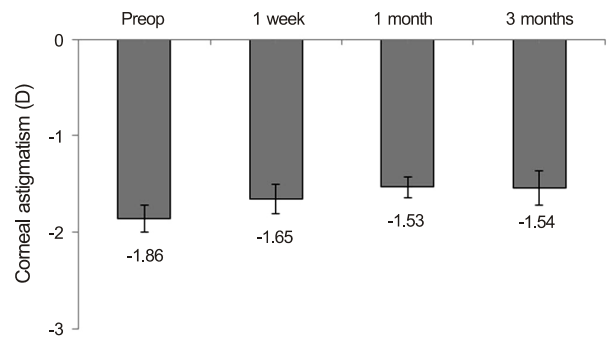
	Preop	Postop 1 week	Postop 1 month	Postop 3 months
M	$-3.43 \pm 6.57 D$	$-0.66 \pm 0.97 D$	$-0.47 \pm 0.94 D$	$-0.66 \pm 0.94 D$
p-value		0.038*	0.060	0.305
J <sub>0</sub>	$-0.55 \pm 1.26 D$	$-0.26 \pm 0.34 D$	$-0.20 \pm 0.19 D$	$-0.12 \pm 0.28 D$
p-value		0.286	0.198	0.028*
J <sub>45</sub>	$0.18 \pm 0.41 D$	$0.05 \pm 0.29 D$	$0.001 \pm 0.27 D$	$-0.09 \pm 0.17 D$
p-value		0.021*	0.034*	0.131
B	$4.61 \pm 5.92 D$	$1.03 \pm 0.74 D$	$0.88 \pm 0.67 D$	$0.82 \pm 0.59 D$
p-value		0.008*	0.002*	0.003*

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated. p-value by Wilcoxon's signed-ranks test.

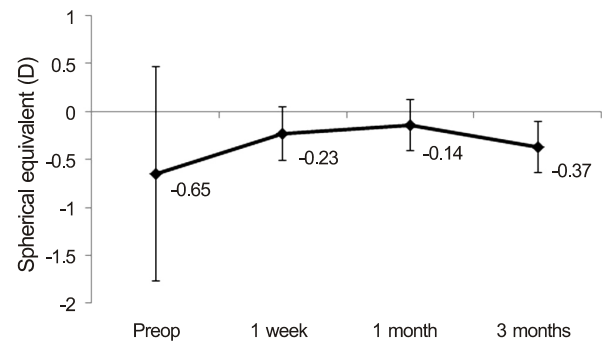
Preop = preoperation; Postop = postoperation; J<sub>0</sub>=x-coordinate of the astigmatism vector; J<sub>45</sub>=y-coordinate of the astigmatism; M = spherical equivalent refraction; B = total dioptric power.

\*Statistically significant values.

1개월에  $-1.53 \pm 0.44D$ , 수술 후 3개월에  $-1.54 \pm 0.62D$ 로 수술 전과 비교하여 유의한 변화는 없었다(Fig. 4). 평균 구면 대응치(spherical equivalent, SE)는 수술 전  $-0.65 \pm 3.52D$ 에서, 수술 후 1주에  $-0.23 \pm 1.06D$ , 수술 후 1개월에  $-0.14 \pm 1.07D$ , 그리고 수술 후 3개월에는  $-0.37 \pm 0.98D$ 로 관찰되었다(Fig. 5). 난시를 Power vector analysis로 분석하여 각 변수들의 변화를 살펴보면(Table 2), M값은 수술 전  $-3.43 \pm 0.57D$ 와 비교하여 수술 후 1주에  $-0.66 \pm 0.97D$ , 수술 후 1개월에는  $-0.47 \pm 0.94D$ 로 유의한 변화가 있었다



**Figure 4.** Changes in the corneal astigmatism between pre- and post- operation. There is no significant changes between the follow-ups. Preop = preoperation.



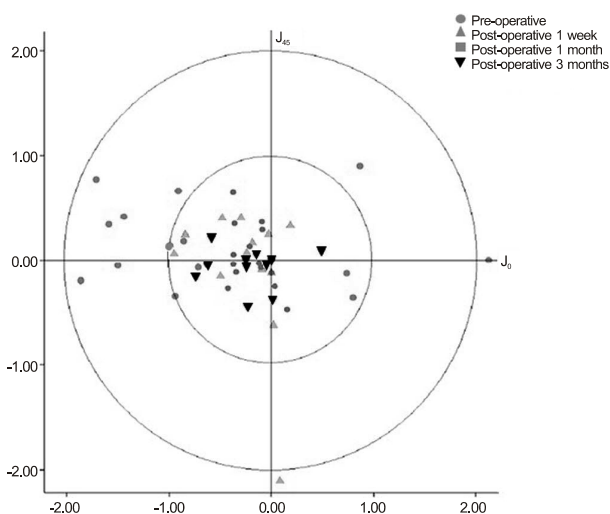
**Figure 5.** Changes in spherical equivalents between pre- and post- operation. Preop = preoperation.

**Table 3.** Post-operative high order aberration of the enrolled patients

High order aberration	Mean $\pm$ SD
Mean postoperative 3 months vertical coma ( $\mu\text{m}$ )	$-0.17 \pm 0.12$
Mean postoperative 3 months horizontal coma ( $\mu\text{m}$ )	$-0.29 \pm 0.20$
Mean postoperative 3 months SA ( $\mu\text{m}$ )	$0.16 \pm 0.12$
Mean postoperative 3 months HOA RMS ( $\mu\text{m}$ )	$0.36 \pm 0.16$

Values are presented as mean  $\pm$  SD.

SA = spherical aberrations; HOA = high-ordered aberration; RMS = root mean square.

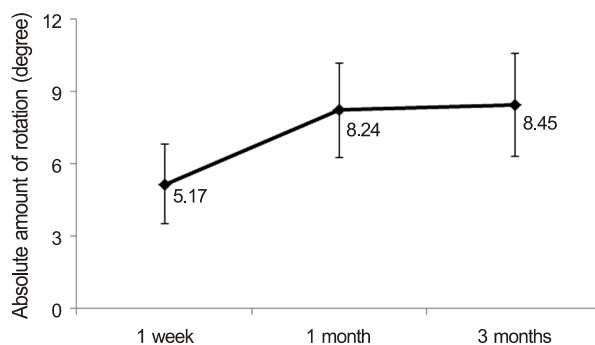


**Figure 6.** Diagram showing refractive astigmatism in diopters measured before surgery and 1 week, 1 month, and 3 months after implanting a single-piece toric acrylic intraocular lens. Astigmatism is shown as vectors at  $J_0$  and  $J_{45}$ . Each ring represents 1 diopter.

( $p=0.038$ ,  $p=0.040$ , Wilcoxon's signed-ranks test).  $J_0$ 값은 수술 전  $-0.55 \pm 1.26\text{D}$ 와 비교하여 수술 후 3개월에  $-0.12 \pm 0.28\text{D}$ 로( $p=0.028$ , Wilcoxon's signed-ranks test),  $J_{45}$ 값은 수술 전  $0.18 \pm 0.41\text{D}$ 와 비교하여 수술 후 1주에  $0.05 \pm 0.29\text{D}$ , 수술 후 1개월에는  $0.001 \pm 0.27\text{D}$ 로 유의한 변화가 있었다( $p=0.021$ ,  $p=0.034$ , Wilcoxon's signed-ranks test). B 값은 수술 전  $4.61 \pm 5.92$ 와 비교하여 수술 후 1주에  $1.03 \pm 0.74$ , 수술 후 1개월에는  $0.88 \pm 0.67$ , 수술 후 3개월에는  $0.82 \pm 0.59$ 로 유의한 변화가 있었다( $p=0.008$ ,  $p=0.002$ ,  $p=0.003$ , Wilcoxon's signed-ranks test; Fig. 6). 고위수차는 수술 전에는 백내장으로 측정이 안 되었고, 수술 후 3개월의 수차를 살펴보면 구면 수차가  $0.16\text{D}$ , 종축 코마수차가  $-0.17\text{D}$ , 횡축 코마수차가  $-0.29\text{D}$ 의 값을 보였다(Table 3).

#### 인공수정체의 회전 안정성

수술 전 의도하였던 축과 비교하여 수술 후 인공수정체의 회전 움직임을 분석해 보면, 방향성을 포함하여 분석 시 수술 전 의도한 축과 수술 후 3개월째 실제 인공수정체의



**Figure 7.** Absolute amount of rotation of a single-piece toric acrylic intraocular lens (IOL) compared with preoperative IOL axis. There was significant rotation between 1 week and 1 month after surgery. However, axis was stable after 1 month.

축 사이의 평균 차이는  $3.26 \pm 8.96$ 도만큼 시계 방향 회전을 보였으며, 이는 통계적으로 유의하지는 않았다( $p=0.221$ , independent  $t$ -test). 회전 값의 절대값 ( $\sqrt{[\text{rotated degree}]^2}$ )을 관찰 시 수술 후 1주에는  $5.17 \pm 5.27$ 도, 수술 후 1개월과 3개월에는 각각  $8.24 \pm 6.76$ 도,  $8.45 \pm [\text{rotated degree}]^2$  전 움직임을 관찰되었다. 수술 후 1주와 1개월 사이에서 유의한 인공수정체 축의 변화를 관찰할 수 있었으나( $3.07$ 도,  $p=0.017$ , independent  $t$ -test), 수술 후 1개월과 3개월 사이의 축의 변화는 유의하지 않았다(Fig. 7). 수술 후 3달까지의 전체 회전 양의 62.7%는 수술 후 1달까지의 기간에 발생함을 알 수 있었다. 수술 후 3개월에 인공수정체 축의 움직임의 방향은 55.5%에서 시계 방향이었다.

## 고 찰

본 연구는 난시가 1D에서 4D 이내인 백내장 환자에서 백내장 수술 시 Tecnis<sup>®</sup> toric IOL 삽입이 시력 교정 효과가 우수하고, 난시 감소 효과는 78%를 보여, 최근 국외에서 난시 감소 효과 44.9%를 보고한 연구<sup>16</sup>보다 우수하였고, 75%를 보고한 Tecnis<sup>®</sup> toric IOL의 결과<sup>20</sup>에 교정 효과가 필적함을 확인하였다. Tecnis<sup>®</sup> toric IOL의 난시 교정 효과는 가장 널리 사용되고 있는 AcrySof<sup>®</sup> toric IOL (Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA) 삽입의 난시 감소 효

과 63.3%에서 80.1% 정도에도 필적함을 알 수 있었다.<sup>12,22,23</sup> 고위수차에 미치는 영향도 AcrySof® toric IOL 삽입의 보고와 필적하였다.<sup>24</sup>

실제로 난시교정용 인공수정체의 난시교정 효과는 술 전 검사 간 오차, 난시축 표기 시의 오차, 환자의 술 전 각막 전면 난시 상태(직난시 또는 도난시), 환자의 각막 후면 난시, 술 중 또는 술 후 인공수정체 축의 회전, 각 렌즈별 도수 결정 프로그램 등 매우 다양한 요인에 의해서 복합적으로 영향을 받기 때문에,<sup>13-19</sup> 다양하게 소개되고 있는 난시교정용 인공수정체의 교정 효과를 직접적으로 비교하기는 매우 어렵다. 저자들은 비교적 국내에 초기에 공급된 AcrySof® toric IOL을 백내장 환자의 난시교정 목적으로 많이 삽입하였는데, 교정 효과가 기대했던 것보다는 부족 교정이 되는 경향을 보여(unpublished data), 여러 가지 요인에 관심을 갖고 분석 중에 난시 도수 결정 프로그램의 요인이 영향을 미치는 것에 주목하였다. 각막의 난시에서 인공수정체의 난시를 환산하는 과정에 ratio는 Effective lens position (ELP)에 따라 영향을 받게 된다.<sup>19,25,26</sup> ELP는 전방 깊이에 의해 결정되고 전방 깊이는 각막 굴절력과 안구축장의 영향을 받으므로, 이 두 가지 요소가 난시 도수를 결정하는 데 고려되어야 하는데, Alcon사의 난시 환산 프로그램은 안구축장 및 전방 깊이의 요인이 배제되어 있어, 실제로 각막 굴절력이 매우 가파르거나 안구축장이 길어 전방 깊이가 깊은 환자에서는 부족 교정이 될 수밖에 없다는 것이 알려졌다. 비교적 후발 주자로 시장에 출시된 Tenis toric IOL의 난시 환산 프로그램은 이 점을 보완하여 안구축장을 고려하게 되어 있어, 저자들은 이러한 차이가 부족 교정의 개선에 도움이 될 것이라 판단하여, Tenis toric IOL을 이용한 난시교정 효과 임상 시험을 진행하게 되었다. 저자들이 초기에 삽입했던 AcrySof® toric IOL의 난시 감소 효과가 56%였음에 비해 Tecnis® toric IOL은 난시 감소 효과가 75%로 통계적으로 유의하지는 않았으나, 교정 효과가 증가하는 경향을 확인할 수 있었다(Supplementary Table 1).

Tecnis® toric IOL의 난시 환산 프로그램의 개선에도 불구하고 난시 교정 효과가 90% 내지 100%에 미치지 못하는 것은 그 외에도 여러 가지 요인이 여전히 작용하고 있기 때문이라고 의심된다. 난시 환산 프로그램이 직접적으로 전방깊이를 측정하여 적용하는 것이 아니라, 각막굴절력과 안구축장으로 환산하는 과정 중에도 오차가 발생할 가능성이 있다. 최근에는 난시 환산 프로그램에 직접 전방 깊이를 측정하여 적용하는 난시교정용 인공수정체가 개발되어 연구가 되고 있어, 관심을 모으고 있다.<sup>27</sup> 그 외에도 술전 검사가 영향을 미칠 수 있으며, 많은 논란이 있으나 기종에 따른 검사 간 오차에 대해서는 학계에서 인정하고 있는 부

분이다.<sup>15,28,29</sup> 최근 각막 후면난시의 중요도가 많이 논의되고 있으며, 후면 난시를 측정할 수 있는 기종이 아닌 경우 후면 난시가 고려되지 않을 때에 도난시에서는 부족 교정이 많이 되고 있다는 것은 널리 인정되고 있다.<sup>18,30,31</sup> 본 연구진의 기종은 후면 난시를 측정할 수 없는 Orbscan의 난시값을 참조하였기에, 부족 교정을 줄이고자 도난시의 경우는 SIA를 0으로 설정하였지만, 그럼에도 각막 전면난시의 방향과 후면난시의 방향이 100% 일치하는 것은 아니므로,<sup>32</sup> 임의 설정으로 인한 오차 발생의 가능성이 있다고 판단한다. 그리고 술 전 검사의 난시값 및 축의 다양성은 술자가 선택을 함에 있어 많은 혼란을 야기한다. 본 연구진의 분석에 의하면 난시가 1.5D 이상 되면 automated keratometry, IOL master 및 Orbscan의 난시축이 많이 일치하기는 하지만, 여전히 난시값에는 차이가 있고 IOL master의 측정값이 유의하게 가장 높게 측정되었다.<sup>14</sup> 본 연구진은 기존 난시렌즈의 교정 효과가 부족 교정의 경향이 있음을 주지하고 있음에도 불구하고, 과교정을 항상 우려하여 세 검사값 중 가장 높은 값을 선택하지는 못하였고, 일치하는 최소 두 검사값을 선택하여 난시 양을 정하였기 때문에 이 부분에서도 오차가 발생할 수 있었을 것으로 판단한다. 이러한 부분은 각 술자가 본인의 환자 데이터 다량 수집 및 분석을 통해(맞춤식 최적화, customization) 어떤 값을 취할지 결정하는 것이 궁극적으로는 필요할 것으로 사료된다. 또 한 가지 수술 전 오차는 난시의 기준축을 표시하는 과정에서 발생이 가능하다. 본 연구팀은 가장 간단한 방법인 세극등하에서 횡축세극을 이용하여 각막에 술자 또는 보조의가 기준점을 표시하는 방법을 선택하였는데, 검사자 간 오차가 발생 가능하다고 판단한다. 이러한 오차를 줄이기 위해 혈관을 이용한 세점 기준축 방법, 세극등 스트립을 이용하거나 software program을 이용하는 등 다양한 방법으로 개선된 검사 방법이 소개되고 있다.<sup>33-36</sup>

마지막으로 수술 후에 발생하는 렌즈의 회전이 오차의 요인 중 하나이다. 본 연구는 실제 인공수정체 축 사이의 평균 차이는 3.26도 시계 방향 회전이 관찰되었고, 이는 통계적으로 유의하지는 않았으며, 5.0도 및 3.15도를 보고한 기존의 국외 연구와 필적하는 결과였다.<sup>22,23</sup> 그러나 회전 절대값 관찰 시 수술 후 1주에는 5.17도, 수술 후 1개월에는 8.24도로, 국외에 보고된 테크니스 토릭 인공수정체 최근 연구의 1.8-2.7도보다 높은 값을 보였다.<sup>20</sup> 수술 후 1주일 내에는 수술 전 검사의 오차 및 렌즈의 낭 내 자유 회전에 의한 오차 가능성이 의심되고, 재질의 특성상 AcrySof® toric IOL보다 덜 끈적거림(sticky)이 원인일 가능성이 있다고 판단된다. 수술 후 1일에 렌즈 회전이 가장 크게 발생한 기존의 국외 연구와 달리, 본 연구의 렌즈 회전은 주로 술



후 1주에서 한 달 이내에 유의하게 변화하였는데, 국외 보고에서 수술 후 1일까지의 변화가 컸던 이유는 수술 중 인공수정체 축의 위치를 맞추는 과정에서의 오차 또는 수술 마지막에 점탄 물질 등의 제거와 연관이 있다고 추측되며,<sup>20</sup> 이와는 달리 본 연구에서 수술 후 1주에서 한 달 이내의 변화는 낭 내 수축에 의한 가능성이 의심되고, 본 연구진의 전낭원형 절개술의 크기가 낭 내 수축의 유발과 연관이 있을 가능성이 있다. 이를 분석함으로써, 본 연구진은 다시 한 번 난시교정 효과에 전낭원형절개술의 크기가 중요할 가능성을 확인하였으며, 앞으로의 전낭원형절개술 시행 시 낭 내 수축을 최소화할 수 있는 크기로 최적화할 예정이다.

결론적으로, 난시를 동반한 백내장 환자에서 Tecnis® toric IOL 삽입은 시력 및 난시교정 효과가 우수함을 확인하였으며, 이는 국제적으로 최근 발표된 국외 보고 결과를 지지하는 증거를 축적하여 학문적 컨센서스를 이루는 데 도움이 되었고, 또한 국내에서는 최초의 보고라는 점에서 그 의의가 있다고 하겠다. 가능한 오차 요인을 줄이기 위해 술자의 환자 결과 분석을 통한 맞춤식 최적화(customization)가 난시 교정렌즈 삽입술에 필요하다고 사료된다.

## 참고문헌

- 1) Rubenstein JB, Raciti M. Approaches to corneal astigmatism in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2013;24:30-4.
- 2) Kretz FT, Bastelica A, Carreras H, et al. Clinical outcomes and surgeon assessment after implantation of a new diffractive multifocal toric intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 2015;99:405-11.
- 3) Chen W, Zuo C, Chen C, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:188-92.
- 4) Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Peixoto-de-Matos SC, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:70-5.
- 5) Fouda S, Kamiya K, Aizawa D, Shimizu K. Limbal relaxing incision during cataract extraction versus photoastigmatic keratectomy after cataract extraction in controlling pre-existing corneal astigmatism. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2010;248:1029-35.
- 6) Kim DH, Wee WR, Lee JH, Kim MK. The short term effects of a single limbal relaxing incision combined with clear corneal incision. *Korean J Ophthalmol* 2010;24:78-82.
- 7) Kaufmann C, Peter J, Ooi K, et al. Limbal relaxing incisions versus on-axis incisions to reduce corneal astigmatism at the time of cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2261-5.
- 8) Lim R, Borasio E, Ilari L. Long-term stability of keratometric astigmatism after limbal relaxing incisions. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1676-81.
- 9) Hirschall N, Gangwani V, Crnej A, et al. Correction of moderate corneal astigmatism during cataract surgery: toric intraocular lens versus peripheral corneal relaxing incisions. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:354-61.
- 10) Jeon JH, Hyung Taek Tyler R, Seo KY, et al. Comparison of refractive stability after non-toric versus toric intraocular lens implantation during cataract surgery. *Am J Ophthalmol* 2014;157:658-65.e1.
- 11) Visser N, Beckers HJ, Bauer NJ, et al. Toric vs aspherical control intraocular lenses in patients with cataract and corneal astigmatism: a randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol* 2014;132:1462-8.
- 12) Na JH, Lee HS, Joo CK. The clinical result of acrySof toric intraocular lens implantation. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:831-8.
- 13) Jeon HM, Lee KH. Analysis of miscorrection after implantation of the toric intraocular lens. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:1636-41.
- 14) Han JM, Choi HJ, Kim MK, et al. Comparative analysis of corneal refraction and astigmatism measured with autokeratometer, IOL Master, and topography. *J Korean Ophthalmol Soc* 2011;52:1427-33.
- 15) Lee H, Kim TI, Kim EK. Corneal astigmatism analysis for toric intraocular lens implantation: precise measurements for perfect correction. *Curr Opin Ophthalmol* 2015;26:34-8.
- 16) Hirschall N, Maedel S, Weber M, Findl O. Rotational stability of a single-piece toric acrylic intraocular lens: a pilot study. *Am J Ophthalmol* 2014;157:405-11.e1.
- 17) Mencucci R, Favuzza E, Guerra F, et al. Clinical outcomes and rotational stability of a 4-haptic toric intraocular lens in myopic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1479-87.
- 18) Preussner PR, Hoffmann P, Wahl J. Impact of posterior corneal surface on toric intraocular lens (IOL) calculation. *Curr Eye Res* 2015;40:809-14.
- 19) Savini G, Hoffer KJ, Carbonelli M, et al. Influence of axial length and corneal power on the astigmatic power of toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1900-3.
- 20) Waltz KL, Featherstone K, Tsai L, Trentacost D. Clinical outcomes of TECNIS toric intraocular lens implantation after cataract removal in patients with corneal astigmatism. *Ophthalmology* 2015;122:39-47.
- 21) Kaye SB, Campbell SH, Davey K, Patterson A. A method for assessing the accuracy of surgical technique in the correction of astigmatism. *Br J Ophthalmol* 1992;76:738-40.
- 22) Miyake T, Kamiya K, Amano R, et al. Long-term clinical outcomes of toric intraocular lens implantation in cataract cases with pre-existing astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1654-60.
- 23) Ferreira TB, Almeida A. Comparison of the visual outcomes and OPD-scan results of AMO Tecnis toric and Alcon AcrySof IQ toric intraocular lenses. *J Refract Surg* 2012;28:551-5.
- 24) Hayashi K, Kondo H, Yoshida M, et al. Higher-order aberrations and visual function in pseudophakic eyes with a toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1156-65.
- 25) Eom Y, Kang SY, Song JS, et al. Effect of effective lens position on cylinder power of toric intraocular lenses. *Can J Ophthalmol* 2015;50:26-32.
- 26) Goggin M, Moore S, Esterman A. Outcome of toric intraocular lens implantation after adjusting for anterior chamber depth and intraocular lens sphere equivalent power effects. *Arch Ophthalmol* 2011;129:998-1003.
- 27) Bascaran L, Mendicute J, Macias-Murelaga B, et al. Efficacy and stability of AT TORBI 709 M toric IOL. *J Refract Surg* 2013;

- 29:194-9.
- 28) Ale Magar JB, Cunningham F, Brian G. Comparison of automated and partial coherence keratometry and resulting choice of toric IOL. *Optom Vis Sci* 2013;90:385-91.
- 29) Chang M, Kang SY, Kim HM. Which keratometer is most reliable for correcting astigmatism with toric intraocular lenses? *Korean J Ophthalmol* 2012;26:10-4.
- 30) Savini G, Næser K. An analysis of the factors influencing the residual refractive astigmatism after cataract surgery with toric intraocular lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015;56:827-35.
- 31) Hasegawa Y, Okamoto F, Nakano S, et al. Effect of preoperative corneal astigmatism orientation on results with a toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1846-51.
- 32) Miyake T, Shimizu K, Kamiya K. Distribution of posterior corneal astigmatism according to axis orientation of anterior corneal astigmatism. *PloS One* 2015;10:e0117194.
- 33) Teichman JC, Baig K, Ahmed II. Simple technique to measure toric intraocular lens alignment and stability using a smartphone. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1949-52.
- 34) Kasthurirangan S, Feuchter L, Smith P, Nixon D. Software-based evaluation of toric IOL orientation in a multicenter clinical study. *J Refract Surg* 2014;30:820-6.
- 35) George VE, George DS. Axis measurement strip for Haag-Streit BM900 series slitlamp. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1584-7.
- 36) Cha D, Kang SY, Kim SH, et al. New axis-marking method for a toric intraocular lens: mapping method. *J Refract Surg* 2011;27:375-9.

**Supplementary Table 1.** Comparison of changes in astigmatism between Tecnis® toric IOL implantation and Acrysof® IQ toric IOL implantation in cataract surgery

	Tecnis® toric IOL (n = 17)	Acrysof® IQ toric IOL (n = 14)	p-value
Mean preoperative refractive astigmatism (diopters)	-2.67 ± 0.89	-1.96 ± 0.85	0.072
Mean preoperative corneal astigmatism (diopters)	-1.85 ± 0.56	-1.68 ± 0.25	0.468
Mean postoperative 3 months refractive astigmatism (diopters)	-0.65 ± 0.54	-0.86 ± 0.55	0.278

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated. *p*-value by Mann-Whitney *U*-test.  
IOL = intraocular lens.

## = 국문초록 =

# 백내장 수술 후 난시교정용 인공수정체를 이용한 난시 교정 효과

**목적:** 난시를 동반한 백내장 환자에서 백내장 수술 시 테크니스 토릭 인공수정체 삽입술의 난시교정 효과 및 안정성을 분석하고자 하였다.

**대상과 방법:** 1D에서 4D의 각막 난시를 동반한 백내장 환자 중 2013년 6월부터 2014년 5월까지 서울대학교병원에서 임상시험 동의하에 백내장 제거술 및 테크니스 토릭 인공수정체 삽입술을 받은 14명 17안을 전향적으로 관찰하여 분석하였다. 수술 전과 후의 시력, 굴절력, 난시, 인공수정체 축, 고위수차의 변화를 술후 3개월까지 관찰하였다. 난시 분석에는 power vector analysis가 사용되었다.

**결과:** 나안시력(logMAR)은 술 전 평균 0.58 ± 0.34에서 3개월에 0.26 ± 0.43으로 유의하게 향상되었다. 평균 굴절난시는 술 전 -2.67 ± 0.89D였고, 술후 3개월에 -0.59 ± 0.48D로 최종 77.9%의 유의한 감소 효과를 보였다. 난시벡터 분석 시 M, B, J<sub>0</sub>, J<sub>45</sub> 모두 술 전과 비교하여 유의하게 감소하였다. 수술 전 의도한 축과 술 후 3개월째 실제 인공수정체 축 간의 평균 차이는 3.26도만큼 시계 방향으로 회전하였지만 통계적으로 유의하지 않았고, 회전은 대부분 술 후 한 달 이내에 발생하였다.

**결론:** 난시를 동반한 백내장 환자에서 초음파 유화술 및 테크니스 토릭 인공수정체 삽입술은 우수한 난시교정 효과 및 회전 안정성을 보였다.

〈대한안과학회지 2015;56(10):1544-1551〉