

백내장 수술 후 각막 전면, 후면 및 전체 난시 변화

Analysis of Changes in Anterior, Posterior and Total Corneal Astigmatism after On-Axis Cataract Surgery

이기일 · 박율리 · 김현승

Kee Il Lee, MD, Yu Li Park, MD, Hyun Seung Kim, MD, PhD

가톨릭대학교 의과대학 안과 및 시과학교실

Department of Ophthalmology and Visual Science, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Purpose: To assess the changes in anterior, posterior, and total corneal astigmatism after cataract surgery with on-axis clear corneal incision cataract surgery.

Methods: This study included 48 eyes (24 eyes with 'with-the-rule [WTR]' and 24 eyes with 'against-the-rule [ATR]') that underwent phacoemulsification and intraocular lens insertion through on-axis clear corneal incision. The ATR group with vertically steep axis of posterior corneal astigmatism was divided into subgroups 1 and 2 for the opposite axis. Autorefractometry, uncorrected and best-corrected visual acuities were measured. Corneal astigmatism (anterior, posterior and total) was measured using Pentacam® preoperatively and 1 week, 1 month, and 2 months postoperatively.

Results: Multivariate linear regression analysis of preoperative data showed positive correlations among anterior, posterior and total astigmatism. Anterior corneal astigmatism showed a significant decrease in both WTR and ATR groups in all measured points (all $p < 0.05$). Posterior corneal astigmatism showed no statistical difference in the WTR group and ATR subgroup 2 ($p > 0.05$) and significant decrease in the ATR subgroup 1 ($p < 0.05$) at 2 months postoperatively. Total corneal astigmatism showed significant decrease 2 months after surgery in the WTR group and ATR subgroup 1 (all $p < 0.05$), but not in the ATR subgroup 2 ($p > 0.05$). According to correlation analysis based on trend line equations, 1.7 diopters of anterior astigmatism could expect 0.3 diopters of posterior astigmatism and 0.5 diopters of total astigmatism for the WTR group and 0.4 diopters of anterior astigmatism could expect 0.2 diopters of posterior astigmatism and 0.4 diopters of total astigmatism for the ATR group.

Conclusions: Considering the majority of cataract patients have vertically steep posterior corneal astigmatism, temporal incision for ATR patients is generally effective. Moreover, for patients with WTR astigmatism of more than 1.7 diopters or ATR astigmatism greater than 0.8 diopters, additional preoperative correction based on posterior astigmatism is needed for more precise prediction of postoperative total corneal astigmatism.

J Korean Ophthalmol Soc 2016;57(1):25-35

Key Words: Against-the-rule (ATR), On-axis incision, Posterior corneal astigmatism, With-the-rule (WTR)

■ Received: 2015. 4. 10. ■ Revised: 2015. 8. 5.

■ Accepted: 2015. 10. 1.

■ Address reprint requests to **Hyun Seung Kim, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital,
#10 63-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07345, Korea
Tel: 82-2-3379-1243, Fax: 82-2-761-6869
E-mail: Sara514@catholic.ac.kr

* This study was presented as a narration at the 112th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2014.

안과 영역에서 가장 보편적인 수술인 백내장 수술 후 원치 않는 시력의 질적 저하에 대해 술 후 난시 발생과 그 역할이 제기되어 왔으며, 이를 줄이기 위한 연구들이 지속적으로 진행되고 있다. 일반적으로 수술유발난시(surgically induced astigmatism, SIA)는 절개창의 폭이 넓을수록, 각막 중심부로부터 가까이에 절개를 시행할수록 값이 커지는 것으로 알려져 있어 최근 미세절개 백내장 수술로 절개창의 크기를 최소화하려 하고 있다.¹ 또한 각막곡률의 가파른 측

의 방향으로 투명 각막절개창을 형성하는 동측 투명각막절개 수술 전 난시를 교정하는 데 효과적이라고 보고되었다.^{2,3} 절개 방향에 따른 수술 유발난시의 정량적 보고로 Kohnen et al⁴은 3 mm 투명각막 절개를 시행할 때, 이측 절개 시 0.47디옵터의 각막난시가 유발되었고, 비측 절개 시 1.55디옵터의 각막난시가 유발되었다고 하였다. Tejedor and Murube⁵는 2.8 mm 정도의 비측 각막 절개는 임상적으로 무시해도 될 정도의 난시만을 유발한다고 하였다.

백내장 수술 전 정확한 전체 난시의 측정은 환자의 수술 중 난시를 교정하고 나아가 환자의 시력 및 수술 만족도를 높이는 결정적인 요소라고 할 수 있으며, 각막의 전면, 후면의 지표들은 전체 각막 난시를 결정하게 된다. 이전에는 각막의 전면 지표만을 측정하여 전체 난시의 추정 값을 구해왔으나, Pentacam[®] (Oculus, Wetzlar, Germany)은 전면, 후면 및 전체 각막 난시를 모두 측정할 수 있어 임상적 유용성이 높다.

과거에는 후면 각막 난시는 최소한의 굴절 난시를 유발하며 난시 교정을 위한 계산에서 중요한 요소로 여겨지지 않았다. 그러나 다양한 방법으로 각막 후면 정보를 실제로 측정한 연구들에서 각막 후면 난시는 0.26디옵터에서 0.78 디옵터의 범위로 비교적 일정하게 존재하는 것을 보고하였고, 이는 임상적으로 간과할 만한 범위를 벗어나는 것으로 알려졌다.⁶⁻¹² Koch et al¹³은 토릭 인공수정체 삽입 시 각막 전면만을 측정하는 장비를 이용할 경우 직난시 군에서 0.5에서 0.6디옵터, 도난시 군에서 0.2에서 0.3디옵터의 각막 난시 예측 오차(prediction error)가 발생하는 것으로 후면 난시의 영향을 입증하였다.

본 연구에서는 2.8 mm 가파른 각막곡률측을 통한 동측 투명각막절개 백내장 수술 48예에서 직난시를 가진 환자군과 도난시를 가진 환자군을 대상으로 Pentacam[®]을 이용하여 전면, 후면 및 전체 각막난시를 측정하여 수술 전후의 변화 양상에 대하여 알아보았다. 이를 통해 본 연구는 백내장 수술 후 직난시 및 도난시 각 군에서의 난시 방향과 양적 변화를 파악하여 수술 전 난시 보정을 위해 각막 후면 난시를 포함한 임상적 지침을 도출하고자 하였다.

대상과 방법

2012년 1월부터 2012년 5월까지 본원 안과에서 백내장으로 수정체유화술 및 후방인공수정체 삽입술을 시행한 37명 중 48안을 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. 수술 전 각막질환이나 안구 내 염증, 녹내장, 약시, 시신경 병증 그리고 당뇨병성 망막병증의 병력이 없는 환자들을 대상으로 하였고 Lens Opacities Classification System (LOCS) III 분

류에 의해 핵성 경화(Nuclear sclerosis) 정도가 5 이상이거나 수술 전 전층각막이식술이나 굴절교정 수술, 녹내장 수술, 유리체 망막수술 등을 받은 경우, 수술 중 후방 파열, 인공수정체 이탈, 중심이탈 및 기울임이 발생한 경우는 연구 대상에서 제외하였다. 수술 전, 수술 후 1주, 수술 후 1개월, 수술 후 2개월의 나안시력, 교정시력, Pentacam[®]을 이용한 전면, 후면, 전체 난시 값을 각각 수집하였다.

대상 환자 중 직난시 군은 24명 24안이었으며, 도난시 군은 24명 24안이였다. Pentacam[®] 각막지형도의 simulated K 값을 기준으로 직난시 군은 각막곡률 중 가장 가파른 축이 $90 \pm 30^\circ$, 도난시 군은 $180 \pm 30^\circ$ 에 위치한 환자로 정의하였다. 후면난시의 가파른 축은 직난시 군에서 모두 $90 \pm 30^\circ$ 범위 내에 있었고($n=24$), 도난시 군에서는 후면난시의 가파른 축이 $90 \pm 30^\circ$ 인 against-the-rule (ATR) subgroup 1 ($n=15$)과 0 or $180 \pm 30^\circ$ 인 ATR subgroup 2 ($n=9$)로 세분하였다.

IOL master[®] (Carl Zeiss, Jena, Germany)로 안축장을 측정하여 인공수정체 도수를 결정하였고, 목표 굴절치는 SRK-II, SRK-T 및 Hoffer-Q 공식을 이용하여 계산하였다. 백내장 수술은 동일한 술자(H.S.K)에 의해 시행되었다. 0.5% proparacaine hydrochloride (Alcaine[®], Alcon, Puurs, Belgium)를 이용한 점안마취 후 수술 전 Pentacam[®] 각막지형도의 전체 각막 난시값을 기준으로 각막곡률이 가파른 축에 따라 직난시인 경우 상측 각막에, 도난시인 경우 이측 각막에 2.8 mm 투명각막절개창을 3 plane으로 만들었다. 점탄물질(Hyal2000[®], LG Life Sciences, Seoul, Korea)을 전방에 주입한 후 앞낭 집게를 사용하여 5.5 mm 크기로 원형전낭절개술을 시행하고 평형염액(BSS Plus[®], Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 사용하여 수력분리술과 수력분층술을 실시한 다음, 초음파수술기구(Infinity Vision System[®], Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)를 이용하여 수정체유화술로 수정체 핵을 제거하였으며 관류흡입기로 남아 있는 수정체 피질을 제거하였다.

수정체낭 내에 비구면 인공수정체인 AcrySof IQ SN60WF (Alcon Inc., Fort Worth, TX, USA)를 삽입하였다. 이후 관류흡입기를 통해 잔류 점탄물질을 제거 후, 수술 절개창은 봉합하지 않고 기질 수화로 창상을 폐쇄하였다. 수술 후 1주일 동안 prednisolone acetate eye drop (PredForte[®])과 Moxifloxacin eye drop (Vigamox[®])을 하루 4회 점안 후 점진적으로 줄여나갔다.

통계분석은 SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였고, Kolmogorov-Smirnov 검정상 정규성 분포를 확인 후 두 군 간 난시의 증감 비교는 Mann-Whitney 검정을 시행하였다. 수술 전 및 수술 후 2달째 Pentacam[®]으로

측정 각막 전면, 후면 및 전체 난시와 수술 유발 난시(SIA)에 대해 Vector analysis를 AstigPLOT (EB Eye Limited, Abu Dhabi, United Arab Emirates) 프로그램을 사용하여 시행하였다.

결 과

수술 환자는 총 48안으로 직난시(1군) 24안, 도난시(2군) 24안이었다. 평균 연령은 각각 61.7세, 63.9세로 유의한 차이는 없었다($p=0.173$). 그 외 안압($p=0.244$), 각막두께($p=0.861$), 각막내피세포 수($p=0.370$), 안축장 길이($p=0.167$)도 두 군 간의 유의한 차이는 없었다(Table 1). 술 전 측정한 logMAR 나안 시력과 술 후 logMAR 나안시력 및 logMAR 최대교정시력, 구면대응치에서 두 군 간의 통계학적 차이는 없었다(Table 2).

술 전 각막 전면난시와 후면난시의 가파른 축의 분포는 각각 상이한 양상을 보였다. 전면난시의 가파른 축이 수직인 군은 50%, 후면난시의 가파른 축이 수직인 군은 83.3%로 나타났다(Fig. 1). 직난시 군과 도난시 subgroup 1, 2에

서 측정한 각막 전면난시, 후면난시, 전체난시를 수술 전, 수술 후 1주, 수술 후 1달, 수술 후 2달에 각각 측정하여 평균 및 표준편차를 구하였다(Table 3). 위 자료에서 수술 전

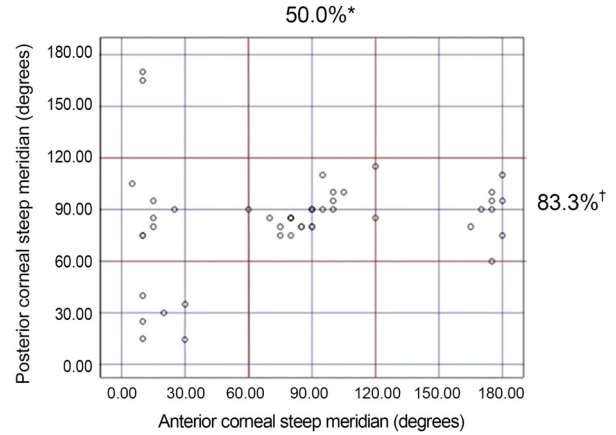


Figure 1. Location of steep meridian on anterior and posterior corneal astigmatism. *Vertical alignment of the steep corneal meridian was seen in 50.0% for the anterior cornea; †Vertical alignment of the steep corneal meridian was seen in 83.3% for the posterior cornea.

Table 1. Patient characteristics

Variables	With-the-rule group	Against-the-rule group	<i>p</i> -value*
No. of eyes	24	24	
Laterality (OD:OS)	9:15	12:12	
Sex (M:F)	5:19	8:16	
Age (years)	61.71 ± 9.56	63.91 ± 17.62	0.173
IOP (mm Hg)	14.32 ± 2.53	14.68 ± 2.47	0.244
Pachymetry (μm)	550.66 ± 33.40	551.29 ± 30.53	0.861
Endothelial cell count (cells/mm ²)	2,798 ± 346	2,638 ± 494	0.370
Axial length (mm)	24.02 ± 1.40	23.76 ± 2.09	0.167

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

IOP = intraocular pressure.

*By Mann-Whitney *U*-test.

Table 2. Data summary of UCVA, BCVA, SE and topographic astigmatism

	With-the-rule group	Against-the-rule group	<i>p</i> -value*
Pre-op			
UCVA (log MAR)	0.291 ± 0.175	0.292 ± 0.195	0.860
BCVA (log MAR)	0.462 ± 0.220	0.441 ± 0.217	0.925
SE (diopter)	-0.719 ± 3.318	-0.646 ± 3.561	0.992
Auto-refractive astigmatism (diopter)	-1.417 ± 1.433	-1.542 ± 0.783	0.130
Post-op 2 months			
UCVA (log MAR)	0.468 ± 0.229	0.496 ± 0.262	0.747
BCVA (log MAR)	0.815 ± 0.122	0.780 ± 0.212	0.814
SE (diopter)	-1.156 ± 0.699	-0.875 ± 0.864	0.208
Auto-refractive astigmatism (diopter)	-0.802 ± 0.840	-0.990 ± 0.640	0.089

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

UCVA = uncorrected visual acuity; BCVA = best corrected visual acuity; SE = spherical equivalent; Pre-op = preoperative; Post-op = postoperative.

*By Mann-Whitney *U*-test.

Table 3. Changes of anterior, posterior, and total corneal astigmatism before and after surgery

	Pre-op (D)	Post-op 1 week (D)	Post-op 1 month (D)	Post-op 2 months (D)
With-the-rule group				
Ant.	1.246 ± 0.999	0.608 ± 0.475	0.621 ± 0.436	0.717 ± 0.466
Post.	0.258 ± 0.102	0.383 ± 0.114	0.346 ± 0.110	0.313 ± 0.128
Total	1.104 ± 0.991	0.429 ± 0.291	0.558 ± 0.491	0.588 ± 0.410
Against-the-rule group (Post. corneal steep meridian with 90 ± 30°)				
Ant.	1.127 ± 0.492	0.653 ± 0.360	0.673 ± 0.299	0.707 ± 0.274
Post.	0.327 ± 0.181	0.227 ± 0.110	0.247 ± 0.145	0.220 ± 0.125
Total	1.480 ± 0.587	0.820 ± 0.495	0.867 ± 0.299	0.900 ± 0.510
Against-the-rule group (Post. corneal steep meridian with 180 ± 30°)				
Ant.	1.478 ± 1.398	0.878 ± 0.485	0.889 ± 0.472	0.733 ± 0.394
Post.	0.211 ± 0.141	0.300 ± 0.250	0.289 ± 0.252	0.378 ± 0.218
Total	1.222 ± 0.746	0.978 ± 0.552	0.889 ± 0.326	1.044 ± 0.541

Values are presented as mean ± SD.

Pre-op = pre-operative; Post-op = post-operative; D = diopter; Ant. = anterior; Post. = posterior.

Table 4. Comparisons of anterior, posterior, and total corneal astigmatism before and 2 months after surgery

	Pre-op (D)	Post-op 2 months (D)	△ Astigmatism p-value*
With-the-rule group			
Ant.	1.246 ± 0.999	0.717 ± 0.274	p = 0.018
Post.	0.258 ± 0.102	0.313 ± 0.125	p = 0.055
Total	1.104 ± 0.991	0.588 ± 0.510	p = 0.023
Against-the-rule group (Post. corneal steep meridian with 90 ± 30°)			
Ant.	1.127 ± 0.492	0.707 ± 0.394	p = 0.016
Post.	0.327 ± 0.181	0.220 ± 0.218	p = 0.049
Total	1.480 ± 0.587	0.900 ± 0.541	p = 0.008
Against-the-rule group (Post. corneal steep meridian with 180 ± 30°)			
Ant.	1.478 ± 1.398	0.733 ± 0.466	p = 0.018
Post.	0.211 ± 0.141	0.378 ± 0.128	p = 0.094
Total	1.222 ± 0.746	1.044 ± 0.410	p = 0.605

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

Pre-op = pre-operative; Post-op = post-operative; D = diopter; Ant. = anterior; Post. = posterior.

*By Mann-Whitney U-test.

과 수술 후 2달 측정치만 추출하여 그 차이를 통계학적으로 분석하였다.

직난시 군에서는 전면난시가 1.246 ± 0.999D에서 0.717 ± 0.274D로 감소(p=0.018), 후면난시는 0.258 ± 0.102D에서 0.313 ± 0.125D로 통계학적으로 유의하지 않은 증가(p=0.055), 전체난시는 1.104 ± 0.991D에서 0.588 ± 0.510D로 감소(p=0.023)를 보였으나, 후면난시 증가는 통계학적으로 유의하지 않았다. 도난시 1군에서는 전면난시가 1.127 ± 0.492D에서 0.707 ± 0.394D로 감소(p=0.016), 후면난시는 0.327 ± 0.181D에서 0.220 ± 0.218D로 감소(p=0.049), 전체난시는 1.480 ± 0.587D에서 0.900 ± 0.541D로 감소(p=0.008)를 보였으며 각각의 변화는 통계학적으로 유의하였다. 도난시 2군에서는 전면난시가 1.478 ± 1.398D에서 0.733 ± 0.466D로 감소(p=0.018), 후면난시는 0.211 ± 0.141D에서 0.378 ± 0.128D로 통계학적으로 유의하지 않은 증가(p=0.094), 전체 난시

는 1.222 ± 0.746D에서 1.044 ± 0.410D로 경도의 감소(p=0.605)를 보였다. 후면난시 증가 및 전체난시의 변화는 통계학적으로 유의하지 않았다(Table 4).

수술 전 난시 값을 토대로 다중회귀분석을 시행하였다. 직난시군에서 각막 전면 난시(anterior, A)와 후면 난시(posterior, P) 사이에는 P=0.100×A+0.145의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.394였다. 각막 전면 난시(A)와 전체 난시(total, T) 사이에는 T=0.865×A+0.161의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.776이었다. 각막 전면난시 및 후면난시와 전체난시 사이에는 T=0.763×A+1.021×P+0.0112의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square는 0.155였다. 도난시 제1군에서 각막 전면 난시(A)와 후면 난시(P) 사이에는 P=0.181×A+0.124의 상관관계식으로 통계학적으로

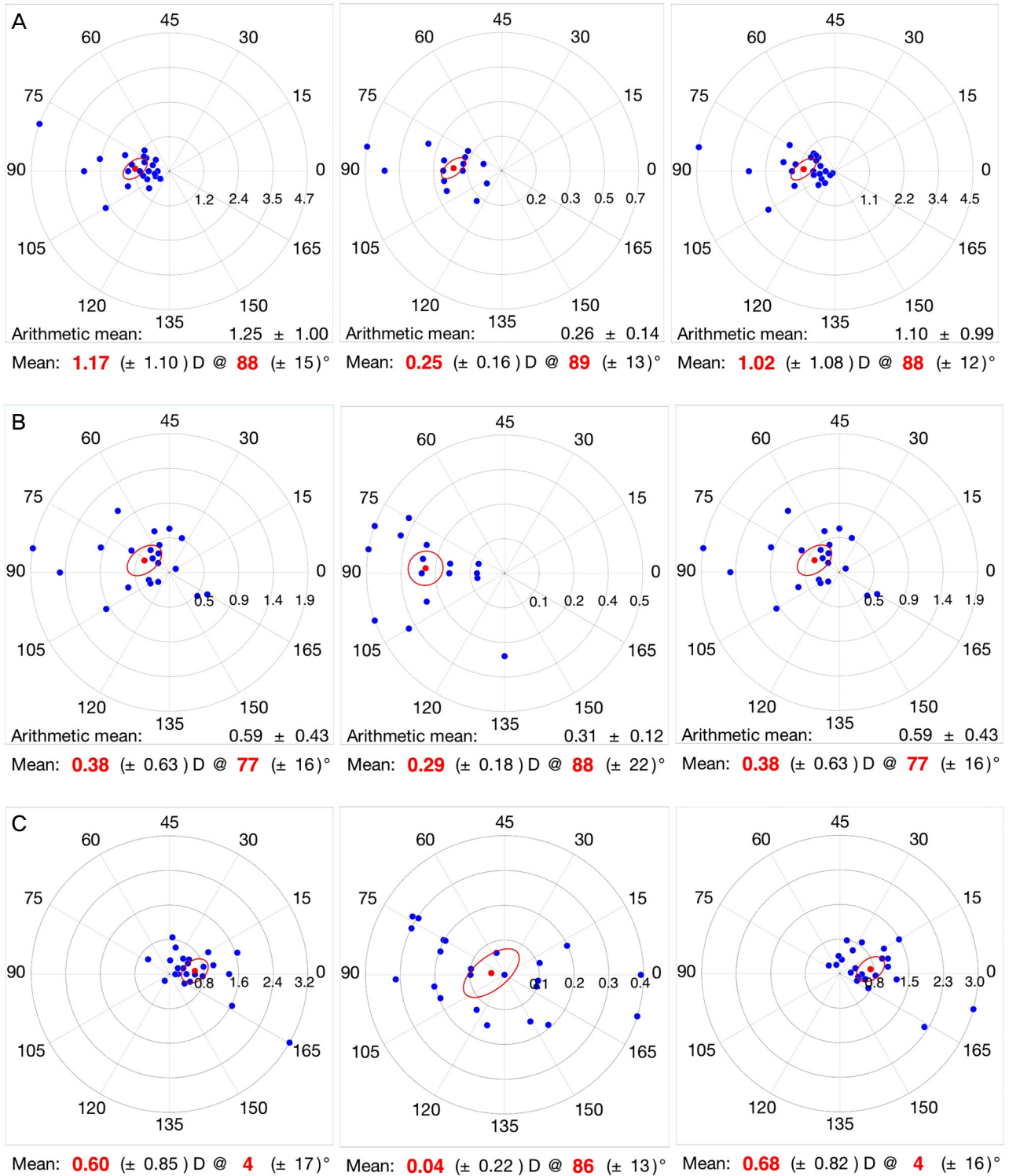


Figure 2. Double-angle plots of corneal astigmatism and SIA using Pentacam® (Oculus, Wetzlar, Germany) from WTR group. Red dots denote for mean values of the amount and axis of corneal astigmatism for each group in (A) to (C). (A) Preoperative anterior (left), posterior (middle) and total (right) corneal astigmatism. (B) Postoperative 2 months anterior (left), posterior (middle) and total (right) corneal astigmatism. (C) SIA in anterior (left), posterior (middle) and total (right) corneal astigmatism. SIA = surgically induced astigmatism; WTR = with-the-rule.

로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.423이었다. 각막 전면 난시(A)와 전체 난시(T) 사이에는 $T=0.953 \times A + 0.361$

의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.636이었다. 각막 전면난시 및 후면

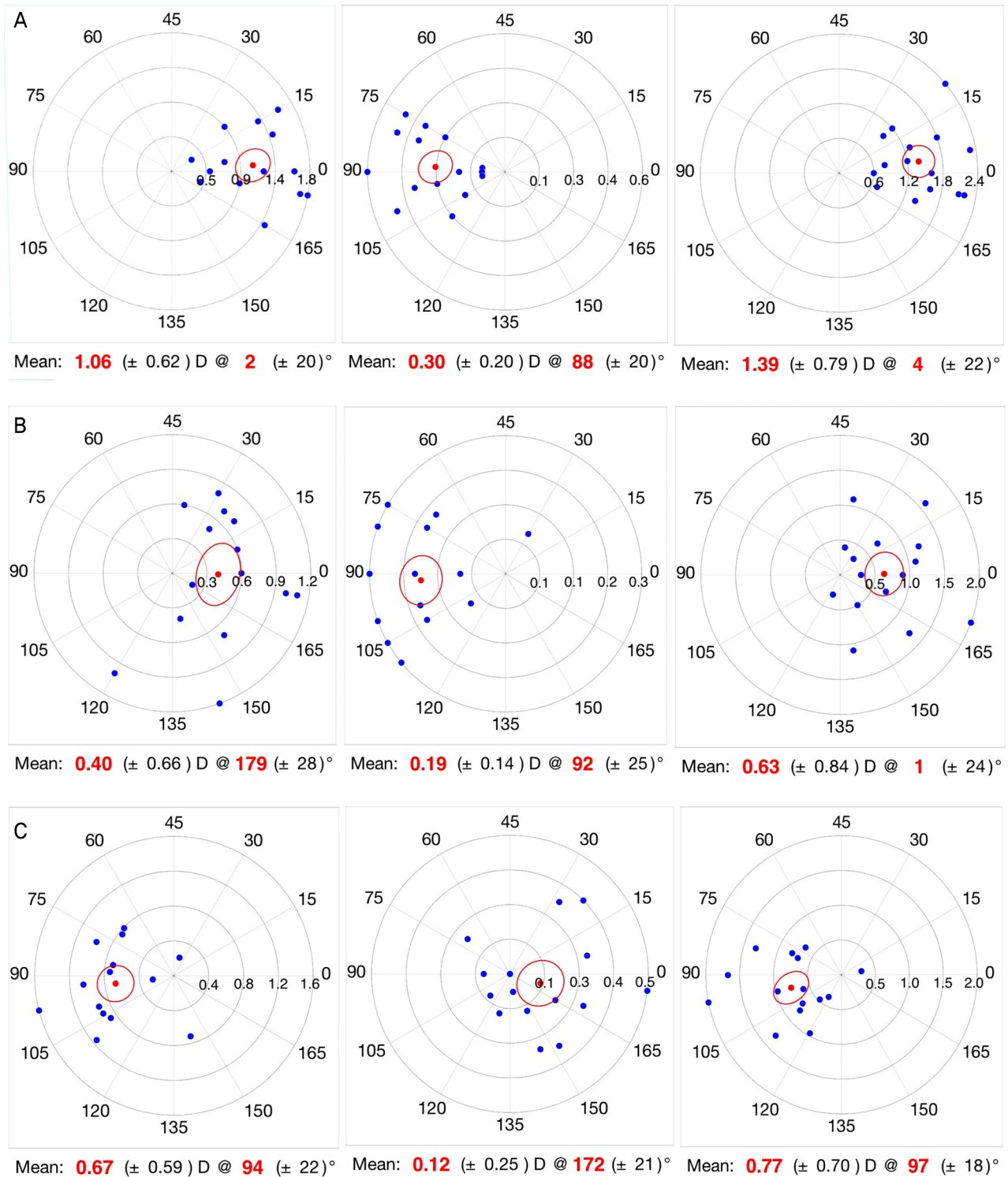


Figure 3. Double-angle plots of corneal astigmatism and SIA using Pentacam® (Oculus, Wetzlar, Germany) from ATR subgroup 1. Red dots denote for mean values of the amount and axis of corneal astigmatism for each group in (A) to (C). (A) Preoperative anterior (left), posterior (middle) and total (right) corneal astigmatism. (B) Postoperative 2 months anterior (left), posterior (middle) and total (right) corneal astigmatism. (C) SIA in anterior (left), posterior (middle) and total (right) corneal astigmatism. SIA = surgically induced astigmatism; ATR = against-the-rule.

난시와 전체난시 사이에는 $T=0.811 \times A + 1.24 \times P + 0.0431$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있

었고 R square는 0.172였다.

수술 후 난시 값에 대해서도 다중회귀분석을 시행하였

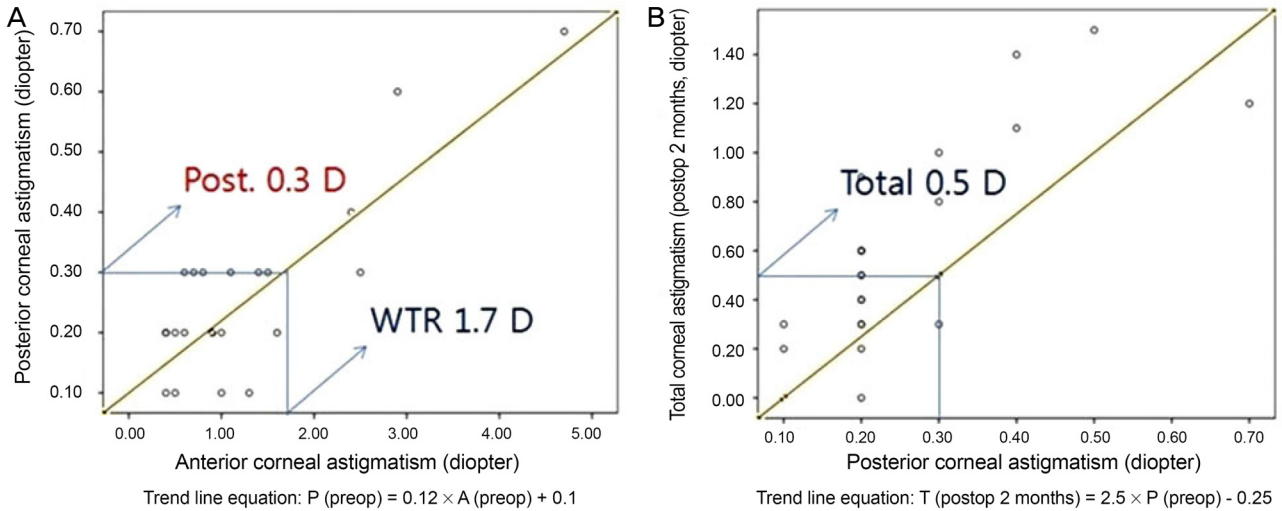


Figure 4. Estimated cut-off value for preoperative consideration of posterior astigmatism in WTR group. (A) Trend line equation was calculated with preop. 'A' and 'P'. (B) Trend line equation was calculated with preop. 'P' and postop 'T' corneal astigmatism. WTR = with-the-rule; A = anterior; P = posterior; T = total; preop = preoperative; postop = postoperative; Post. = posterior astigmatism.

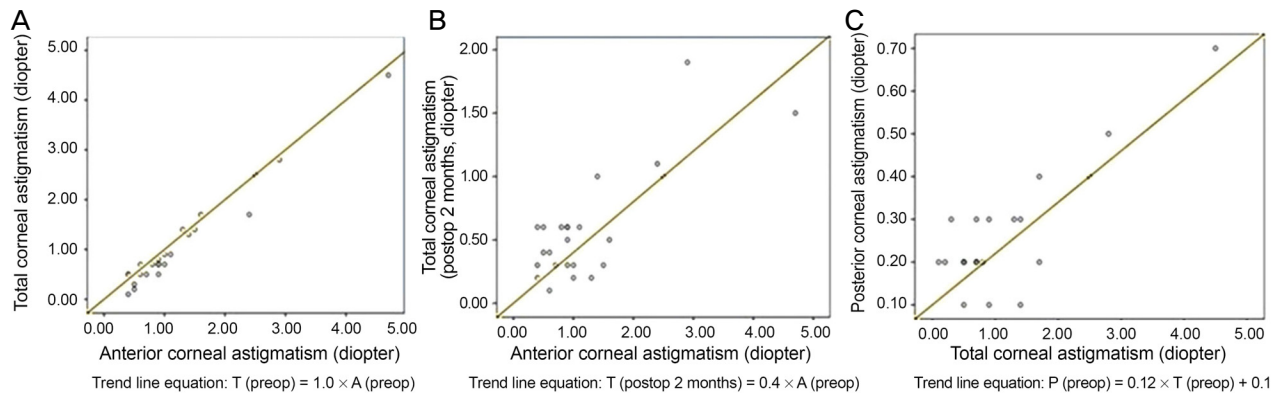


Figure 5. Correlations of magnitude of the 'A', 'P' and 'T' corneal astigmatism in WTR group. (A) Correlations of magnitude of preop 'A' and 'T' corneal astigmatism. (B) Correlations of magnitude of preop 'A' and postop 'T' corneal astigmatism. (C) Correlations of magnitude of preop 'T' and 'P' corneal astigmatism. Trend line equations for each correlation were calculated. WTR = with-the-rule; A = anterior; P = posterior; T = total; preop = preoperative; postop = postoperative.

다. 직난시군에서 각막 전면 난시(A)와 후면 난시(P) 사이에는 $P = -0.067 \times A + 0.361$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의하지 않았고($p = 0.230$) R square 값은 0.022였다. 각막 전면 난시(A)와 전체 난시(T) 사이에는 $T = 0.772 \times A + 0.034$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.670이었다. 각막 후면 난시(P)와 전체 난시(T) 사이에는 $T = -1.462 \times P + 1.044$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 음의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.133이었다. 각막 전면난시 및 후면난시와 전체난시 사이에는 $T = 0.787 \times A - 0.591 \times P + 0.208$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었고 R square는 0.685였다. 도난시 제1군에서 각막 전면 난시(A)와 후면 난시(P) 사이

에는 $P = 0.132 \times A + 0.127$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의하지 않았고($p = 0.081$) R square 값은 0.156이었다. 각막 전면 난시(A)와 전체 난시(T) 사이에는 $T = 0.934 \times A + 0.240$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.233이었다. 각막 후면 난시(P)와 전체 난시(T) 사이에는 $T = 5.119 \times P - 0.226$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있었고 R square 값은 0.669였다. 각막 전면난시 및 후면난시와 전체난시 사이에는 $T = 0.936 \times A - 0.066 \times P + 0.253$ 의 상관관계식으로 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었고 R square는 0.169였다.

직난시 및 도난시 군에서 시행한 Vector analysis를 시행하였고 SIA 또한 도출하였다(Fig. 2, 3). 직난시 군에서의 수

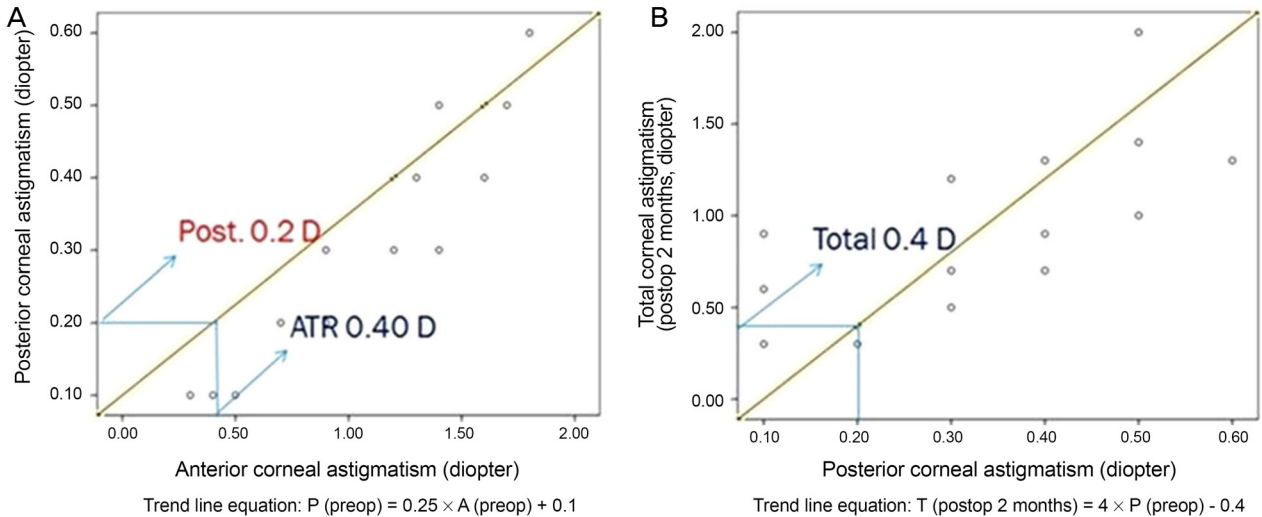


Figure 6. Estimated cut-off value for preoperative consideration of posterior astigmatism in WTR group. (A) Trend line equation was calculated with preop. 'A' and 'P'. (B) Trend line equation was calculated with preop. 'P' and postop 'T' corneal astigmatism. WTR = with-the-rule; A = anterior; P = posterior; T = total; preop = preoperative; postop = postoperative; Post. = posterior astigmatism; ATR = against-the-rule.

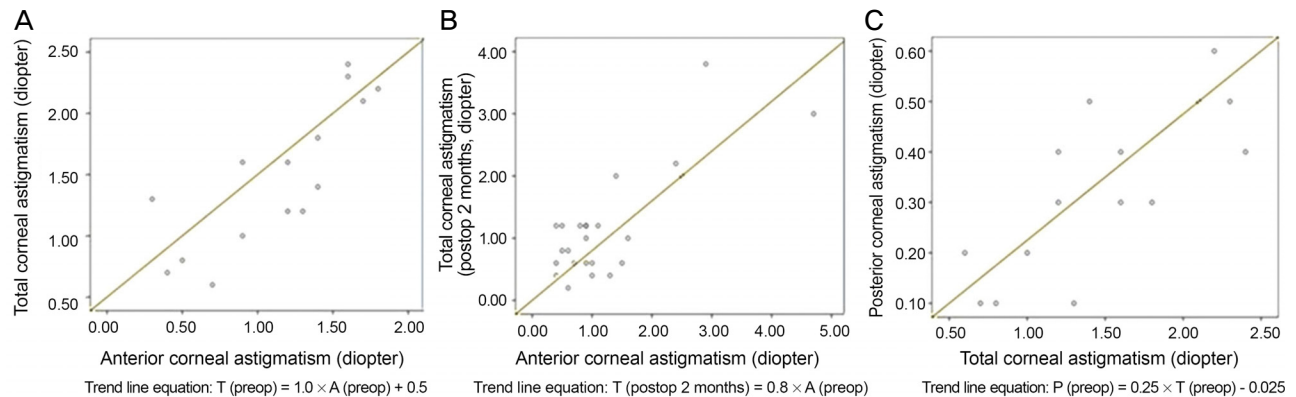


Figure 7. Correlations of magnitude of the 'A', 'P' and 'T' corneal astigmatism in WTR group. (A) Correlations of magnitude of preop 'A' and 'T' corneal astigmatism. (B) Correlations of magnitude of preop 'A' and postop 'T' corneal astigmatism. (C) Correlations of magnitude of preop 'T' and 'P' corneal astigmatism. Trend line equations for each correlation were calculated. WTR = with-the-rule; A = anterior; P = posterior; T = total; preop = preoperative; postop = postoperative.

수술 전 각막 전면 난시와 후면 난시 사이의 상관관계(Fig. 4A)와 수술 전 각막 후면 난시와 수술 후 전체 난시 사이의 상관관계(Fig. 4B)를 각각 관계식으로 나타내었다. Figure 4A에서 전면난시가 1.7디옵터일 때 상관관계식에 의거하여 후면난시 0.3디옵터를 예상할 수 있으며, Figure 4B에서 후면난시가 0.3디옵터일 때 상관관계식에 의거하여 수술 후 2달의 전체 난시 0.5디옵터를 예상할 수 있다. 직난시 군에서는 각막 전면 난시와 수술 전 전체 난시, 전면난시와 수술 후 2개월의 전체난시, 수술 전 전체난시와 후면난시 모두에서 양의 상관 관계를 가지는 것을 확인하였다(Fig. 5). 도난시 제1군에서의 수술 전 각막 전면 난시와 후면 난시 사이의 상관관계(Fig. 6A)와 수술 전 각막 후면 난시와

수술 후 전체 난시 사이의 상관관계(Fig. 6B)를 각각 추세선으로 나타내었다. 도난시 제1군에서는 각막 전면난시와 수술 전 전체난시, 전면난시와 수술 후 2개월의 전체난시, 전체난시와 후면난시 모두에서 양의 상관 관계를 가지는 것을 확인하였다(Fig. 7). 도난시 제2군에서는 연구 대상안이 9안으로 비교적 적었고, 각막 전면, 후면 및 전체 난시 간에 유의할 만한 상관관계를 갖지 않는 것으로 나타났다.

직난시군에서 수술 전 각막 전체 난시는 직난시를 보였으나 수술 2개월째 각막 전체 난시가 도난시로 변한 경우는 5안이었으며, 이들은 모두 수술 전 전체 각막 난시가 0.5 디옵터 이하였고 후면 난시가 모두 도난시를 보였다. 하지만 도난시군에서 수술 전 도난시를 보이다가 수술 후 직난

시를 보이는 경우는 본 연구에서는 관찰되지 않았다.

고 찰

각막의 굴절력은 각막 전면, 후면, 각막 두께 및 각막의 굴절 상수로 결정된다. 또한 난시는 인체의 광학계에서 시각적으로 중요한 저위수차의 하나로 두 개의 서로 수직인 단면으로 진행되는 빛이 2개의 다른 초점에서 상을 맺게 되는 경우 발생한다. 백내장 수술 시 난시 감소는 환자의 시력 및 시력의 질 향상을 위해 반드시 고려해야 할 요소이다. 일반적으로 각막의 전면과 후면의 난시는 그 크기와 정중선의 방향에 있어서 독립적으로 존재하는 것으로 알려져 있다.

전통적으로 각막곡률계로 측정한 각막 전면 굴곡에 대한 값을 수정 굴절상수(modified refractive index:1.3375)를 사용하여 전체 각막 굴절력으로 추정 및 환산한 난시를 각막계 난시(Keratometric Astigmatism)라고 하였다. 각막계 난시만을 이용하여 토릭 인공수정체 도수를 산출하였을 때에도 만족할 만한 난시 교정 결과를 보였다는 보고들도 있지만,^{14,15} 추가적인 연구들에서는 각막 후면난시 값을 무시할 경우 전체 난시 측정에 오류를 초래한다고 하였다.^{8,12,16} 그러므로, 각막계 난시를 사용할 때 발생 가능한 예측 오차를 감안한다면, 각막 후면 난시를 고려해야 할 임상적 절단값(cut off value)을 아는 것이 중요하다고 할 수 있다.

Koch et al¹²은 각막계 난시를 이용한 고전적인 방법으로 난시를 측정한 후 수정체 초음파 유화술 및 토릭 인공수정체 삽입술을 시행할 경우 전체난시를 실제보다 평균 0.22디옵터 정도 낮게 측정하였다고 보고하였으며, 이 중 5%에서는 0.5디옵터 이상의 측정 오차가 발생하였다고 하였다. 또한 435명의 환자 715안을 대상으로 평균 각막 후면 난시가 0.30디옵터라고 보고하였고 연령이 증가함에 따라, 특히 낮은 디옵터의 난시를 가질수록 각막 전면난시의 가파른 축은 수직에서 수평으로 변하지만, 후면난시의 가파른 축은 연령의 증가에 따라 변하지 않았다고 보고하였다.¹² 그의 다른 보고에서 토릭 인공수정체 삽입 시 각막 전면만을 측정하는 장비를 이용할 경우 직난시 군에서 0.5에서 0.6디옵터, 도난시 군에서 0.2에서 0.3디옵터의 각막 난시 예측 오차(prediction error)가 발생하는 것으로 후면 난시의 영향을 입증하였다.¹³ Nemeth et al¹⁷도 827명의 환자, 827안을 대상으로 한 연구에서, 전면난시가 직난시인 비율이 10대에서 80.0%, 80대에서 36.0%로 연령에 따라 감소, 도난시인 비율이 10대에서 7.1%에서 80대에서 44.0%로 증가한다고 하였고, 후면난시가 직난시인 비율은 10대에서 94.3%, 80대에서 84.0%를 차지하며, 도난시인 비율은 10대에서

1.4%, 80대에서 8.0%로 비교적 일정하다고 보고하였다. 본 연구에서도 직난시 군의 전면 및 도난시 군의 63%에서 후면 난시의 가파른 축이 수직인 것을 확인하여 기존 보고들과 일치하였다.

직난시군에서 수술 2개월째 각막 전체 난시가 도난시로 변한 5안에서는, 수술 전 전체 각막 난시가 0.5디옵터 이하로 난시의 정도가 크지 않았으며 후면 난시가 모두 도난시를 보여 상측 투명각막절개를 시행하였을 때 전면난시는 감소하였으나 후면 난시의 영향으로 인하여 각막 전체 난시의 가파른 축의 방향이 반대로 바뀐 것으로 사료된다. 따라서 수술 전 각막 난시 조정을 위해 절개 방향을 결정할 때 전체 각막 난시의 양이 적을 경우에도 후면 난시의 영향을 고려해야 한다.

Savini et al¹⁸은 임상적으로 각막난시의 수술적 교정 대상이 되는 1.0디옵터 이상의 각막계 난시를 가진 환자군에서 후면 난시가 0.50디옵터 이상인 비율이 유의하게 높다고 하였다(55.4%). 이는 각막 전면 난시와 후면 난시의 양 사이에 유의한 상관 관계가 있다는 본 연구의 결과와 일치하며, 술 전 각막 후면난시를 고려해야 할 대상군 선정과 cut off value 설정을 각막 전면 난시의 크기로 할 수 있는 이론적 근거가 된다. Nemeth et al¹⁹은 또한 수술 전 측정한 각막 후면 난시 값과 각막 후면의 수술유발난시(SIA) 간에 통계학적으로 유의한 상관관계가 있다고 보고하였고($r=0.34$, $p=0.001$), 따라서 각막 후면난시와 각막 후면의 수술유발 난시 또한 백내장 수술, 특히 난시교정용 인공수정체 삽입 계획 시 임상적으로 중요한 요소라고 하였다.

후면난시의 경축이 수직일 경우 도난시의 효과를 나타내고 도난시 군에서는 인구학적으로 다수에서 후면난시의 경축이 수직(본 연구의 도난시 제1군)인 점을 감안할 때, 백내장 수술 시 일반적으로 시행하는 이측 절개가 전체 각막 난시를 줄이는 데 효과적이라고 생각된다.

Baylor toric IOL nomogram에서 toric IOL 삽입을 고려하는 임상적 threshold를 WTR군 전면난시 1.7디옵터 이상, ATR군 0.4디옵터 이상으로 제시하였다.³ 따라서 본 연구의 상관관계식에 의거하여, 직난시 군에서는 전면난시 1.7디옵터 이상에 해당하는 후면난시 0.3디옵터, 도난시군에서는 전면난시 0.4디옵터에 해당하는 후면난시 0.2디옵터를 각막 후면 난시 보정을 위한 cut off value로 추정하였다. 본 연구의 직난시군에서 후면난시가 0.3디옵터를 초과한 경우 평균 전체난시 변화(ΔT)는 $0.612 \pm 0.627D$ 로 후면난시가 0.3디옵터 이하인 경우의 평균 전체난시 변화($0.496 \pm 0.588D$)보다 유의하게 컸으며, 도난시군에서 후면난시가 0.2디옵터를 초과한 경우 평균 전체난시 변화(ΔT)는 $0.573 \pm 0.642D$ 로 0.2 이하인 경우의 평균 전체난시 변화(0.483

± 0.517D)보다 유의하게 컸다.

또한 본 연구 집단의 후면 난시 평균치는 0.292디오퍼터로 이는 Koch¹² (715안), Nemeth¹⁷ (827안) group이 각각 도출한 역학적 후면난시 평균치도 0.3디오퍼터로 본 연구와 거의 일치하였다. 추후 대규모 연구를 통해 후면난시 0.3디오퍼터 이상이 초래하는 잔여난시 및 임상적 영향을 더 조사해 보아야 할 것으로 사료된다.

따라서 cut off value에 미치지 않는 대상에 대해서는 절개창의 크기 또는 윤부와 거리 선택 등 미세한 조작에 있어 후면난시의 영향을 고려하는 것이 좋겠고, cut off value 이상의 난시군에 대해서는 Koch et al¹³이 제시한 Baylor toric IOL nomogram 등을 참고하여 난시교정을 시도하는 것이 추천된다.

각막 후면의 굴절 정보를 실제로 측정하기 위해서는 Purkinje images, Scanning-slit imaging, Scheimpflug imaging, Optical coherence tomography 등을 이용할 수 있다. 백내장 수술 후 굴절력과 난시에 대한 각막 후면 난시의 영향이 입증되어 감에 따라 적절한 장비를 활용하여 절단값 이상의 환자 군에서 각막후면 난시의 수술 전 고려가 더욱 필요할 것으로 사료되며, 수술 전 난시 보정을 위한 더 큰 인구집단에서의 각막 전후면 난시의 상관관계 분석과 노모그램 도출 또한 필요할 것이다

REFERENCES

- 1) Swinger CA. Postoperative astigmatism. *Surv Ophthalmol* 1987; 31:219-48.
- 2) Tejedor J, Murube J. Choosing the location of corneal incision based on preexisting astigmatism in phacoemulsification. *Am J Ophthalmol* 2005;139:767-76.
- 3) Nielsen PJ. Prospective evaluation of surgically induced astigmatism and astigmatic keratotomy effects of various self-sealing small incisions. *J Cataract Refract Surg* 1995;21:43-8.
- 4) Kohnen S, Neuber R, Kohnen T. Effect of temporal and nasal unsutured limbal tunnel incisions on induced astigmatism after phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:821-5.
- 5) Tejedor J, Murube J. Choosing the location of corneal incision based on preexisting astigmatism in phacoemulsification. *Am J Ophthalmol* 2005;139:767-76.
- 6) Royston JM, Dunne MC, Barnes DA. Measurement of posterior corneal surface toricity. *Optom Vis Sci* 1990;67:757-63.
- 7) Dunne MC, Royston JM, Barnes DA. Posterior corneal surface toricity and total corneal astigmatism. *Optom Vis Sci* 1991;68:708-10.
- 8) Ho JD, Tsai CY, Liou SW. Accuracy of corneal astigmatism estimation by neglecting the posterior corneal surface measurement. *Am J Ophthalmol* 2009;147:788-95, 795.e1-2.
- 9) Dubbelman M, Sicam VA, Van der Heijde GL. The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea. *Vision Res* 2006;46:993-1001.
- 10) Prisant O, Hoang-Xuan T, Proano C, et al. Vector summation of anterior and posterior corneal topographical astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:1636-43.
- 11) Módis L Jr, Langenbucher A, Seitz B. Evaluation of normal corneas using the scanning-slit topography/pachymetry system. *Cornea* 2004;23:689-94.
- 12) Koch DD, Ali SF, Weikert MP, et al. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:2080-7.
- 13) Koch DD, Jenkins RB, Weikert MP, et al. Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1803-9.
- 14) Hoffmann PC, Auel S, Hütz WW. Results of higher power toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1411-8.
- 15) Bauer NJ, de Vries NE, Webers CA, et al. Astigmatism management in cataract surgery with the AcrySof toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1483-8.
- 16) Tejedor J, Guirao A. Agreement between refractive and corneal astigmatism in pseudophakic eyes. *Cornea* 2013;32:783-90.
- 17) Nemeth G, Berta A, Lipcz A, et al. Evaluation of posterior astigmatism measured with scheimpflug imaging. *Cornea* 2014;33:1214-8.
- 18) Savini G, Versaci F, Vestri G, et al. Influence of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism in eyes with moderate to high astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1645-53.
- 19) Nemeth G, Berta A, Szalai E, et al. Analysis of surgically induced astigmatism on the posterior surface of the cornea. *J Refract Surg* 2014;30:604-8.

= 국문초록 =

백내장 수술 후 각막 전면, 후면 및 전체 난시 변화

목적: 직난시와 도난시 환자에서 백내장 수술 후 각막 전면 및 후면 난시 변화를 분석하였다.

대상과 방법: 백내장 환자 48안(직난시 24안, 도난시 24안)에 직난시 군은 상측, 도난시 군은 이측으로 투명각막절개를 시행하였다. 도난시 군은 후면난시 경축이 수직인 제1군과 수평인 제2군으로 분류하였다. 수술 전과 수술 후 1주, 1달, 2달의 각막 전면, 후면 및 전체 난시량을 Pentacam®으로 측정하였다.

결과: 직난시군과 도난시 1군에서 술 전 각막 전면난시와 후면난시 및 전체난시는 양의 상관관계를 보였다. 각막 전면난시는 술 후 모든 군에서 유의하게 감소하였다(all $p < 0.05$). 술 후 2달째 각막 후면난시는 직난시 군과 도난시 제2군에서 유의한 차이가 없었고($p > 0.05$), 도난시 제1군에서는 감소하였다($p < 0.05$). 전체 각막난시는 술 후 2개월째 직난시 군과 도난시 제1군에서 유의하게 감소하였으나($p < 0.05$) 도난시 제2군에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 도출된 상관관계식에 의거, 각막 전면 직난시가 1.7디옵터일 때 0.3디옵터의 각막 후면난시 및 0.5디옵터의 전체 각막 난시를, 도난시가 0.4디옵터 이상일 때 0.2디옵터의 각막 후면난시 및 0.4디옵터의 전체 각막 난시를 예측할 수 있었다.

결론: 각막 후면 난시 경축이 수직 경선을 따르는 경우가 대다수이므로 도난시 군에서 이측 절개가 난시 감소에 효과적이다. 직난시가 1.7디옵터 이상이거나 도난시가 0.4디옵터 이상일 경우 술 후 난시 예측을 위해서 전면 난시뿐 아니라 후면 난시도 고려해야 한다. <대한안과학회지 2016;57(1):25-35>
