

각막굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위가 파장가변 빛간섭단층촬영계상 각막 수차에 미치는 영향

Effect of Temporal Decentration of Orthokeratologic Lens on Corneal Aberrations in Swept-source Optical Coherence Tomography

허정선 · 문남주 · 김경우

Jung Sun Heo, MD, Nam Ju Moon, MD, PhD, Kyoung Woo Kim, MD, PhD

중앙대학교 의과대학 중앙대학교병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Chung-Ang University Hospital, Chung-Ang University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: This study used anterior segment swept-source optical coherence tomography (AS SS-OCT) to explore the effect of temporal decentration within the orthokeratologic lens treatment zone on corneal aberrations.

Methods: After lens placement, AS SS-OCT was used to evaluate anterior, posterior, and total corneal astigmatism and the magnitudes of the individual 1st- to 4th-order aberrations of the anterior and entire corneal fields. Also, the 4th- to 7th-order root mean square (RMS), and the low- and high-ordered RMSs of both the anterior and entire corneal areas were recorded. We compared subjects lacking (the no decentration [ND] group) to those exhibiting (the temporal decentration [TD] group) temporal decentration.

Results: In all, 61 eyes of 32 patients (44 eyes in the ND group and 17 in the TD group) were included. In the TD group, the average temporal decentration was 0.74 ± 0.15 mm. The baseline axial length, spherical equivalent, anterior mean corneal power, and anterior corneal astigmatism did no difference between the two groups. However, the TD group exhibited more anterior and total corneal horizontal tilts, and horizontal coma, than the ND group. That group also had less with-the-rule (WTR)/against-the-rule (ATR) astigmatism, elevated anterior and total corneal 5th-order RMS values, and greater low- and high-ordered RMS levels. However, despite these differences, the extent of myopia correction did not significantly differ between the groups.

Conclusions: Although myopia reduction was not significantly compromised by temporal decentration of an orthokeratologic lens, the anterior and total corneal low- and high-ordered RMS values increased. In terms of individual aberrations, the low-ordered horizontal tilt and the high-ordered horizontal coma increased.

J Korean Ophthalmol Soc 2024;65(5):309-319

Keywords: Aberration, Anterior, Orthokeratologic lens, Temporal decentration

현재까지 세계 인구의 약 30%에게 근시가 발생하고 있다고 추정되며, 이는 2050년까지 50%로 증가할 것으로 예

측된다.¹ 청소년의 근시 유병률 또한 증가하고 있으며, 예를 들어 중국의 고등학교 고학년 학생 중 약 70%가 현재 근시로 진단받았다.² 이에 따라 근시진행을 억제하는 치료법은 수많은 근시 환자에게 도움이 될 것이며, 그중에서도 현재 각막굴절교정술 렌즈(orthokeratologic lens)는 대중화되어 널리 이용되고 있다.

각막굴절교정술 렌즈는 일시적인 근시교정 효과와 더불어 소아 및 청소년의 비수술적 근시진행 억제 수단이며,^{3,4} 정기적인 관찰과 철저한 위생 관리가 이루어진다면 야간 착용

■ Received: 2023. 9. 12. ■ Revised: 2023. 11. 17.

■ Accepted: 2024. 4. 18.

■ Address reprint requests to **Kyoung Woo Kim, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Chung-Ang University Hospital,
#102 Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul 06973, Korea
Tel: 82-2-6299-1689, Fax: 82-504-178-6026
E-mail: kkanssa@cau.ac.kr

* Conflicts of Interest: The authors have no conflicts to disclose.

© 2024 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.

각막굴절교정술 렌즈는 비교적 안전하게 착용할 수 있다.^{5,6} 각막굴절교정술 렌즈의 기본 원리는 중심각막은 편평하게, 중심 주변부 각막은 가파르게 만들어서 주변부 망막의 원시성 탈초점화(peripheral hyperopic defocus)를 유발하여 안축장의 연장을 억제하는 것이다.³

각막굴절교정술 렌즈를 처방하는 안과 의사들은 이제까지 각막의 지형학적 중심에 맞게 렌즈를 정확히 위치시켜서 주간 시간에 최상의 시력을 가져오는 것이 최선이라고 배워왔다. 이는 각막굴절교정술 렌즈가 각막을 누르는 치료영역(treatment zone)의 중심이탈(decentration)이 발생하게 되면 시력저하, 각막 수차 증가, 빛번짐(glare), 빛퍼짐(halo), 빛폭발(starburst) 등의 이상광시증(dysphotopsia) 및 대비감도 저하가 발생하게 되기 때문이다.⁷ 각막굴절교정술 렌즈의 치료영역의 중심이탈 중 하측 및 이측 방향으로의 중심이탈이 상대적으로 흔하다고 알려져 있으며,^{7,8} 중심이탈의 일반적인 원인으로 렌즈 피팅 상의 문제, 부적절한 렌즈 직경의 선택, 기저 각막난시, 수면 중의 안구 움직임 등이 있다.⁹⁻¹¹ 중심이탈 중 수직 방향의 중심이탈은 렌즈의 시상 깊이에 따라 예측 및 교정이 가능한 경향을 보이지만, 이측 수평이탈은 원인이 다양하고 교정이 어려운 편이다. 한편, 각막굴절교정술 렌즈의 중심이탈이 오히려 주변부 망막의 탈초점화를 강화시켜서 안축장의 연장을 억제하는 장점 역시 보고되었다.^{12,13} 따라서 교정이 상대적으로 어려운 이측 방향으로의 수평이탈이 발생하게 되었을 때 렌즈를 교체할지 여부를 결정하는 것은 현실적으로 쉽지 않으며, 실제 환자 시력의 질적인 측면과 연관될 수 있는 각막 수차의 변화를 알아보는 것이 렌즈 교체 여부를 결정하는데 도움이 될 수 있다.

최근 들어 사인플러그카메라와 더불어 많이 사용되는 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계(anterior segment swept-source optical coherence tomography)는 전면 및 전체 각막의 굴절지표 및 수차 정보들뿐만 아니라 안구 생체계측치들을 얻을 수 있고, 측정값들이 눈물층에 덜 구애받기 때문에 각막굴절교정술 렌즈 피팅 및 경과 관찰에 있어 응용 빈도가 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 각막굴절교정술 렌즈 사용 시작 후 치료영역의 이측편위가 발생한 환자들에서 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계로 측정된 각막 수차들의 특징에 대해 알아보려고 하였다.

대상과 방법

본 연구는 의무기록에 근거한 후향적 코호트 연구로서, 본원의 연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인하(IRB 승인번호: 2307-008-19479) 헬싱키선언에

입각하여 수행되었다.

대상 환자

본원 안과에서 각막굴절교정술 렌즈 착용 시작 최소 1달 경과 후 2021년 11월부터 2023년 8월간 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계(Anterion, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)을 촬영한 바 있었던 환자들을 포함하였다. 각막굴절교정술 렌즈의 최초 피팅은 회사측에서 제공하는 제품별 가이드라인을 따랐다.

수집 항목 및 연구 설계

전체 대상자를 치료영역의 중심이탈이 없는 대조군(no decentration, ND)과 이측편위가 있는 환자군(temporal decentration, TD)으로 구분하였다. 각막굴절교정술 렌즈 최초 착용 전 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계(IOL master 700, Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany)상 안축장(mm), 전면 평균 각막굴절력(anterior mean corneal power [diopters, D]), 전면 각막난시(D)을 수집하였고, 자동굴절측정계에서 구면대응치(spherical equivalent [D])를 수집하였다. 착용 최소 1달 경과 후 Anterion 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계에서 3.0 mm 직경에서의 전면 각막난시, 후면 각막난시, 전체 각막난시, 6.0 mm 직경 이내 영역에서 각막의 정점(vertex)을 중심으로 한 전면 각막 및 전체 각막의 1-4차에 걸친 10개의 개별 수차값(1차: vertical tilt, horizontal tilt, 2차: oblique astigmatism, defocus, with-the-rule [WTR]/against-the-rule [ATR] astigmatism, 3차: oblique trefoil, 수직 코마[vertical coma], 수평 코마[horizontal coma], horizontal trefoil, 4차: 구면수차[spherical aberration]), 4-7차 root mean square (RMS), 저위수차 RMS, 고위수차 RMS 값을 수집한 후, 각 항목값들을 군 간 비교하였다. 1-4차 개별 각막 수차는 좌우안 차이에 따른 음수, 양수의 차이를 보정하기 위해 절대값(magnitude)을 분석에 이용하였다.

각막굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위 정의

전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계가 각막의 정점을 각막 중심으로 하여 각막수차를 측정하기 때문에 본 연구에서 각막굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위의 기준을 동공 중심이 아닌 각막 정점으로 하였다. 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계의 전면 각막 접선곡률지도(anterior tangential curvature map)의 중심을 시축, 즉 각막 정점으로 하였고, 치료영역에 가상의 원을 그린 다음 그 중심을 치료영역 중심으로 간주하였다. 접선곡률지도의 정사각형 1칸의 변의 길이가 1.0 mm임을 참고하여 치료영역 중심과 각막 중심(각막 정점)의 수평 거리가 0.5 mm를 초과할 경우 각막

굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위로 정의하였다(Fig. 1). 이측편위의 가능한 외인성 요인으로 과도한 눈꺼풀 장력이 있거나 비정상적인 수면 자세가 있었던 환자는 제외하였다.

통계 분석

그래프 제작 및 통계 분석은 Prism version 10.0.0 (GraphPad Software, Boston, MA, USA)을 이용하였다. 군 간 통계 검정 시, 연속변수에 대해서는 정규성 검정 후 결과값들이 정규 분포를 만족할 시에는 모수 검정인 Student's *t*-test를, 만

족하지 않을 시에는 비모수 검정인 Mann-Whitney *U* test를 시행하였다. 군 간 성별 분포 차이 분석은 chi-square test를 이용하였다. 두 가지 변수 간 상관관계 분석은 Spearman's rank correlation test를 이용하였다. 유의확률(*p*-value)이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

본 연구에는 총 32명(남자 10명, 여자 22명) 61안이 포함되었고, 그중 44안은 ND군, 17안은 TD군으로 배정되었다. 전체 대상자의 평균 나이는 10.8 ± 2.3 세였다. TD군의 이측 방향 치료영역의 중심이탈 정도는 평균 0.74 ± 0.15 mm 였고, ND군에서는 평균 0.21 ± 0.12 mm였다.

각막굴절교정술 렌즈 착용 시작 당시의 나이, 안축장 길이, 구면대응치, 전면 평균 각막굴절력 및 전면 각막난시는 군 간 차이가 없었으나, 여자 환자의 비율은 ND군에서 59.1%, TD군에서 94.1%로 이측편위가 발생한 군에서 여자의 비율이 유의하게 더 높았다($p=0.008$) (Table 1). 각막굴절교정술 렌즈 착용 후 전면 각막난시, 후면 각막난시는 군 간 차이를 보이지 않았다($p=0.111$ and $p=0.146$, respectively) (Table 2). 전체 각막난시는 ND군에서 1.52 ± 0.83 D, TD군에서 1.08 ± 0.58 D로 ND군에서 유의하게 더 높았으나, 경계성 유의수준을 보였다($p=0.046$) (Table 2).

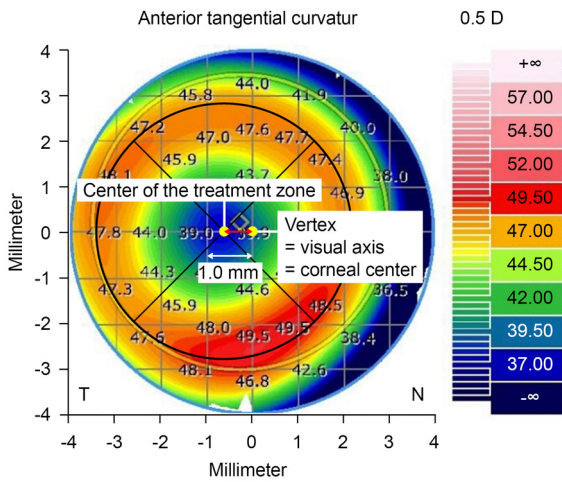


Figure 1. Definition of cornea vertex-centered temporal decentration in the orthokeratologic lens treatment zone, as determined by the anterior tangential curvature map in Anterior anterior segment swept-source optical coherence tomography. The black circle represents the designated fitting zone. The left yellow circle indicates the center of the treatment zone, while the right yellow circle lies on the same vertical meridian as the corneal vertex which means visual axis. The distance between the corneal vertex and the center of the treatment zone, depicted by a bidirectional red line, is defined as the temporal decentration distance. D = diopters.

전면 및 전체 각막 개별 수차 및 RMS의 군 간 비교

전면 각막 수차 중, 1차 수차인 horizontal tilt가 TD군에서 ND군 대비 유의하게 높았고($1.159 \pm 0.811 \mu\text{m}$ [ND] vs. $3.988 \pm 1.183 \mu\text{m}$ [TD], $p<0.0001$), 2차 수차인 WTR/ATR astigmatism이 TD군에서 ND군 대비 유의하게 낮았다($1.760 \pm 0.845 \mu\text{m}$ [ND] vs. $1.204 \pm 0.607 \mu\text{m}$ [TD], $p=0.027$) (Fig. 2). 3차 수차 중에서는 수평 코마가 TD군에서 ND군 대비 유의하게 높았다($0.309 \pm 0.239 \mu\text{m}$ [ND] vs. $1.061 \pm$

Table 1. Patient demographics and baseline refractive data in each group

Variable	Group		<i>p</i> -value
	No decentration	Temporal decentration	
Number of eyes	44	17	-
Age (years)*	10.9 ± 2.2	10.1 ± 2.4	0.218
Sex, female (%)†	59.1	94.1	0.008§
Axial length (mm)*	24.26 ± 0.69	24.46 ± 0.58	0.298
Spherical equivalent (D)*	-2.36 ± 1.34	-2.66 ± 0.70	0.050
Anterior mean corneal power (D)‡	43.66 ± 1.01	43.98 ± 1.06	0.316

D = diopters.

*Mann-Whitney *U* test; †chi-square test; ‡Student's *t*-test; §*p*-value less than 0.05.

0.326 μm [TD], $p < 0.0001$) (Fig. 2). 이외 개별 전면 각막 수차 중 vertical tilt, oblique astigmatism, defocus, oblique

trefoil, 수직 코마, horizontal trefoil, 구면수차의 절대값은 군 간 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

Table 2. Anterior, posterior and total corneal astigmatism after orthokeratologic lens in each group

Variable	Group		p-value
	No decentration	Temporal decentration	
Anterior corneal astigmatism (D)*	1.61 \pm 0.81	1.36 \pm 0.90	0.111
Posterior corneal astigmatism (D)†	-0.38 \pm 0.14	-0.32 \pm 0.11	0.146
Total corneal power astigmatism (D)*	1.52 \pm 0.83	1.08 \pm 0.58	0.046‡

D = diopters.

*Mann-Whitney U test; †Student's t-test; ‡p-value less than 0.05.

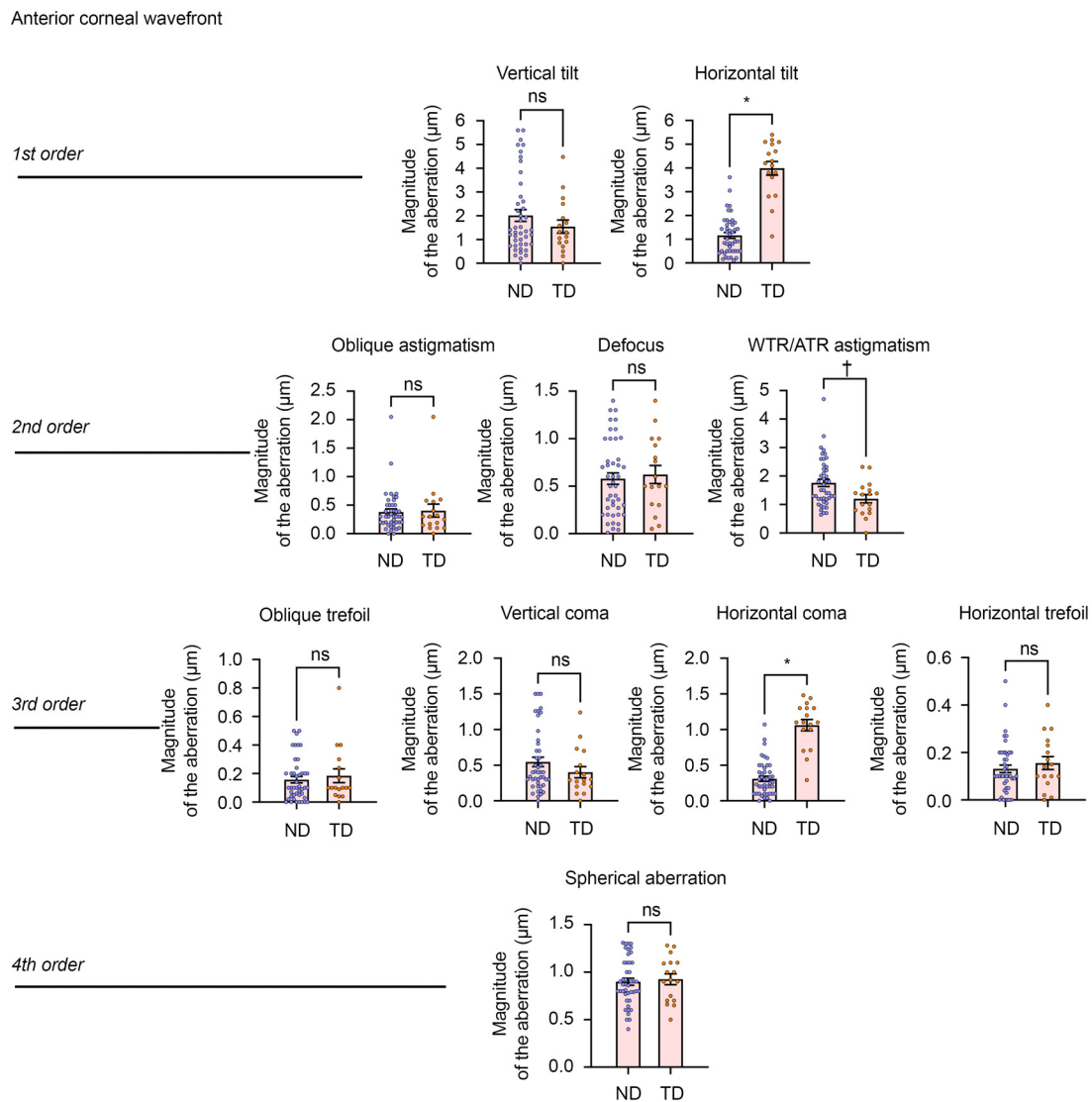


Figure 2. Comparison of individual anterior corneal aberrations measured by anterior segment swept-source optical coherence tomography. The magnitude of anterior corneal horizontal tilt and horizontal coma was significantly higher in the TD group compared to the ND group. WTR/ATR astigmatism was higher in ND group. ns = not significant; ND = no decentration; TD = temporal decentration; WTR/ATR = with-the-rule/against-the-rule. * $p < 0.0001$; † $p < 0.05$.

전체 각막 수차 중, 1차 수차인 horizontal tilt가 TD군에서 ND군 대비 유의하게 높았고($0.724 \pm 0.306 \mu\text{m}$ [ND] vs. $2.939 \pm 0.898 \mu\text{m}$ [TD], $p < 0.0001$), 2차 수차인 WTR/ATR astigmatism이 TD군에서 ND군 대비 유의하게 낮았다($1.436 \pm 0.768 \mu\text{m}$ [ND] vs. $0.961 \pm 0.516 \mu\text{m}$ [TD], $p = 0.020$) (Fig. 3). 3차 수차 중에서는 수평 코마가 TD군에서 ND군 대비 유의하게 높았다($0.311 \pm 0.241 \mu\text{m}$ [ND] vs. $1.058 \pm 0.332 \mu\text{m}$ [TD], $p < 0.0001$) (Fig. 3). 이외 개별 전체 각막 수차 중 vertical tilt, oblique astigmatism, defocus, oblique trefoil, 수직 코마, horizontal trefoil, 구면수차의 절대값은 전면 각막 수차에서와 같이 군 간 차이를 보이지 않았다(Fig. 3).

전면 각막에서 4-7차 범위 내 차수별 RMS 중 5차 RMS ($0.122 \pm 0.071 \mu\text{m}$ [ND] vs. $0.217 \pm 0.058 \mu\text{m}$ [TD], $p < 0.0001$), 7차 RMS ($0.001 \pm 0.003 \mu\text{m}$ [ND] vs. $0.003 \pm 0.005 \mu\text{m}$ [TD], $p = 0.032$)가 TD군에서 ND군 대비 유의하게 더 높았다(Table 3). 전면 각막 저위수차 RMS ($3.312 \pm 1.492 \mu\text{m}$ [ND] vs. $4.476 \pm 1.170 \mu\text{m}$ [TD], $p = 0.002$)와 전면 각막 고위수차 RMS ($1.220 \pm 0.428 \mu\text{m}$ [ND] vs. $1.599 \pm 0.380 \mu\text{m}$ [TD], $p = 0.001$) 모두 TD군에서 ND군 대비 더 높았다(Table 3).

전체 각막에서 4-7차 범위 내 차수별 RMS 중 5차 RMS 만 TD군에서 ND군 대비 유의하게 더 높았으며($0.117 \pm 0.071 \mu\text{m}$ [ND] vs. $0.208 \pm 0.055 \mu\text{m}$ [TD], $p < 0.0001$),

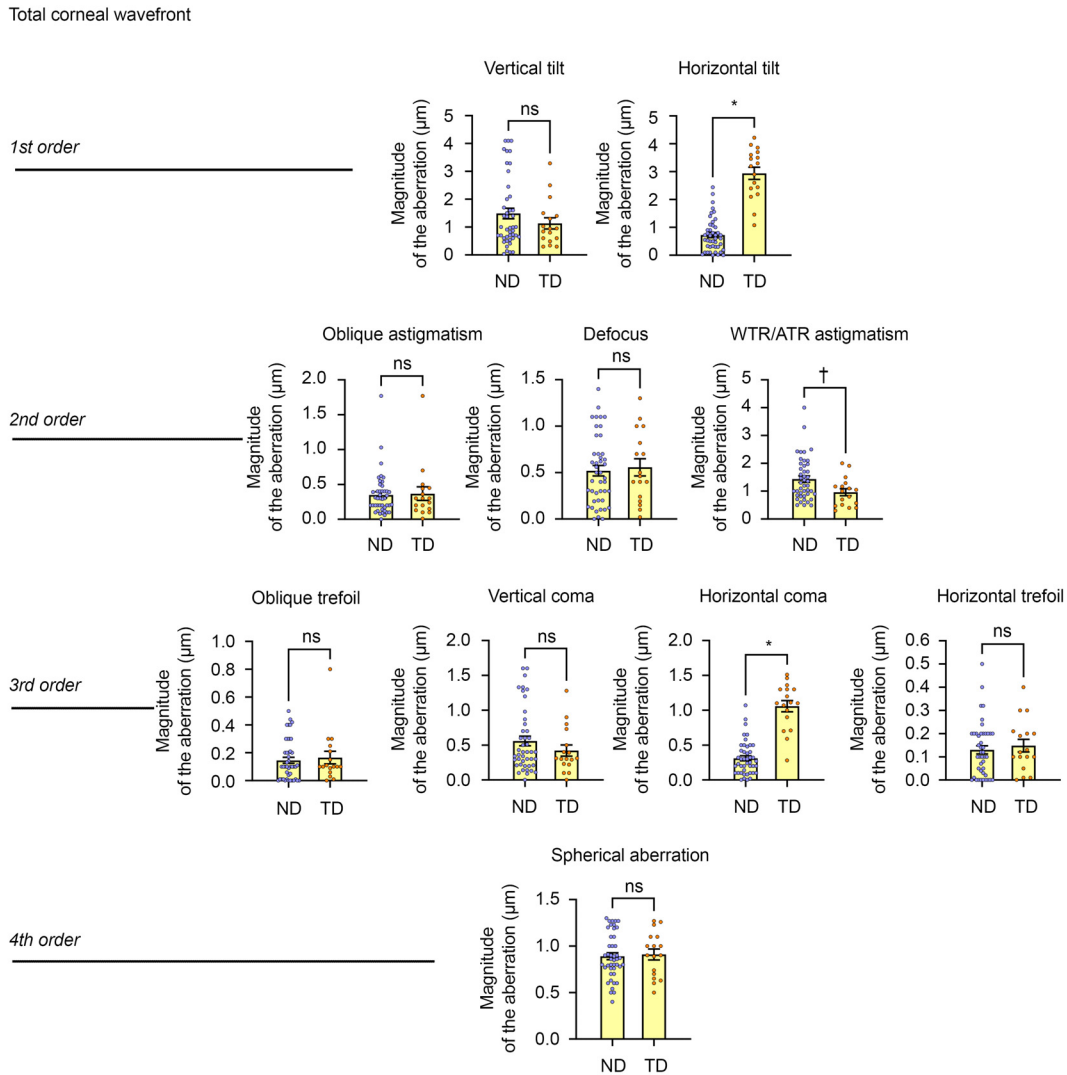


Figure 3. Comparison of individual total corneal aberrations measured by anterior segment swept-source optical coherence tomography. The magnitude of total corneal horizontal tilt and horizontal coma was significantly higher in the TD group compared to the ND group. WTR/ATR astigmatism was higher in ND group. ns = not significant; ND = no decentration; TD = temporal decentration; WTR/ATR = with-the-rule/against-the-rule. * $p < 0.0001$; † $p < 0.05$.

나머지 4, 6, 7차 RMS는 군 간 차이를 보이지 않았다(Table 4). 전체 각막 저위수차 RMS ($2.557 \pm 1.166 \mu\text{m}$ [ND] vs. $3.536 \pm 0.892 \mu\text{m}$ [TD], $p=0.003$)와 전면 각막 고위수차 RMS ($1.208 \pm 0.444 \mu\text{m}$ [ND] vs. $1.588 \pm 0.391 \mu\text{m}$ [TD], $p=0.003$) 모두 TD군에서 ND군 대비 더 높았다(Table 4).

이측 방향 치료영역의 중심이탈 정도에 따른 전면 및 전체 각막 개별 수차 및 RMS의 변화

전면 및 전체 각막에서 공통적으로 이측 방향 치료영역의 중심이탈 정도와 유의한 양의 상관관계를 보인 각막수차의 절대값은 horizontal tilt (전면 및 전체 각막: $p<0.0001$), 수평 코마(전면 및 전체 각막: $p<0.0001$), 5차 RMS (전면 및 전체 각막: $p<0.0001$), 각막 저위수차 RMS (전면 각막: $p=0.002$, 전체 각막: $p=0.008$) 및 각막 고위수차 RMS (전면 및 전체 각막: $p=0.001$)였다(Table 5). 그중에서도 특히 horizontal tilt (전면 각막: $r_s=0.785$, 전체 각막: $r_s=0.724$)와 수평 코마(전면 각막: $r_s=0.771$, 전체 각막: $r_s=0.773$)가 상대적으로 높은 상관계수를 보인 각막 수차들이었다.

근시교정량의 군 간 비교

각막굴절교정술 렌즈 사용 후, ND군에서는 1.726 ± 1.118 D, TD군에서는 1.765 ± 0.859 D만큼 근시가 교정되었으며, 근시교정량은 두 군 간 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.638$) (Table 6).

증 례

Case 1

각막굴절교정술 렌즈 착용 전 좌안 구면대응치 -3.0 D의 근시가 있었던 7세 여아가 렌즈 착용 후 이측 방향으로 0.67 mm만큼 치료영역의 중심이탈이 발생하였다(Fig. 4A). 전면 각막 저위수차 RMS와 고위수차 RMS 모두 치료 전 각각 $2.81 \mu\text{m}$, $0.49 \mu\text{m}$ 에서 치료 후 각각 $3.43 \mu\text{m}$, $1.18 \mu\text{m}$ 로 증가하였다. 개별 수차 중에서는 horizontal tilt가 착용 전 0.1에서 착용 후 -3.0으로 가장 크게 증가하였다. 착용 후 좌안 구면대응치는 -1.25 D로, 1.75 D만큼의 근시교정 효과를 보였다.

Table 3. Anterior corneal RMS values after orthokeratologic lens in each group

Variable	Group		p-value
	No decentration	Temporal decentration	
Anterior corneal 4th RMS (μm)*	0.928 ± 0.247	0.997 ± 0.203	0.351
Anterior corneal 5th RMS (μm)*	0.122 ± 0.071	0.217 ± 0.058	$<0.0001^\ddagger$
Anterior corneal 6th RMS (μm)*	0.085 ± 0.036	0.089 ± 0.030	0.567
Anterior corneal 7th RMS (μm)*	0.001 ± 0.003	0.003 ± 0.005	0.032^\ddagger
Anterior corneal RMS LoA (μm)*	3.312 ± 1.492	4.716 ± 1.170	0.002^\ddagger
Anterior corneal RMS HoA (μm)*	1.220 ± 0.428	1.599 ± 0.380	0.001^\ddagger

RMS = root mean square; LoA = low order aberration; HoA = high order aberration.

*Mann-Whitney U test; ‡ p-values less than 0.05.

Table 4. Total corneal RMS values after orthokeratologic lens in each group

Variable	Group		p-value
	No decentration	Temporal decentration	
Total corneal 4th RMS (μm)*	0.882 ± 0.263	0.987 ± 0.209	0.149
Total corneal 5th RMS (μm) ‡	0.117 ± 0.071	0.208 ± 0.055	$<0.0001^\ddagger$
Total corneal 6th RMS (μm) ‡	0.079 ± 0.041	0.079 ± 0.038	0.727
Total corneal 7th RMS (μm) ‡	0.001 ± 0.002	0.002 ± 0.004	0.335
Total corneal RMS LoA (μm) ‡	2.557 ± 1.166	3.536 ± 0.892	0.003^\ddagger
Total corneal RMS HoA (μm) ‡	1.208 ± 0.444	1.588 ± 0.391	0.003^\ddagger

RMS = root mean square; LoA = low order aberration; HoA = high order aberration.

*Student's t-test; ‡ Mann-Whitney U test; ‡ p-values less than 0.05.

Case 2

각막굴절교정술 렌즈 착용 전 우안 구면대응치 -3.75 D의 근시가 있었던 12세 여아가 렌즈 착용 후 이측 방향으로 0.95 mm만큼 치료영역의 중심이탈이 발생하였다(Fig. 4B). 전면 각막 저위수차 RMS와 고위수차 RMS 모두 치료 전 각각 2.39 μm , 0.33 μm 에서 치료 후 각각 4.63 μm , 1.41 μm 로 증가하였다. 개별 수차 중에서는 마찬가지로 horizontal tilt가 착용 전 -0.1에서 착용 후 4.2로 가장 크게 증가하였다. 착용 후 좌안 구면대응치는 -3.5 D로, 불과 0.25 D만큼의 근시교정 효과를 보였다.

고 찰

각막굴절교정술 렌즈는 비수술적 방법으로 단기간 내 근

시를 완화시키고 장기적으로는 근시진행까지 억제할 수 있는 효과적인 치료 방법으로 국내외 대중화되고 있다. 하지만, 여러 가지 이유로 각막굴절교정술 렌즈가 각막의 중심을 제대로 누르지 못하게 된다면 치료영역의 중심이탈을 유발하게 되며 이는 시력의 질을 떨어뜨리거나 각막의 점상미란을 유발할 수 있다. 반면, 각막굴절교정술 렌즈의 중심이탈은 오히려 연간 안축장 길이 연장의 억제인자로 작용할 수도 있기 때문에 시력이 비교적 양호하고 이상광시증이 뚜렷하지 않다면 굳이 교정할 필요가 없다고도 보고된 바 있다.¹³ 각막굴절교정술 렌즈의 중심이탈 중 수직 방향의 이탈은 비교적 예측 가능하고 교정이 쉽지만 이측편위는 눈꺼풀 장력이 상대적으로 높은 아시아인에서 발생이 더 흔하고 교정이 어려운 특징이 있다.¹⁴ 이 때문에 이측편위가 발생하였을 시, 각막굴절교정술 렌즈 치료영역 중심

Table 5. Correlation between temporal decentration distance and anterior and total individual corneal aberrations and corneal RMS values

Temporal decentration distance vs. magnitude values of corneal aberrations	Anterior		Total	
	r _s	p-value	r _s	p-value
Vertical tilt	-0.043	0.744	-0.084	0.519
Horizontal tilt	0.785	<0.0001*	0.724	<0.0001*
Oblique astigmatism	-0.056	0.666	0.031	0.811
Defocus	0.032	0.810	0.002	0.990
WTR/ATR astigmatism	-0.234	0.070	-0.242	0.061
Oblique trefoil	0.027	0.835	0.013	0.919
Vertical coma	-0.106	0.416	-0.073	0.580
Horizontal coma	0.771	<0.0001*	0.773	<0.0001*
Horizontal trefoil	0.152	0.244	0.161	0.214
Spherical aberration	0.072	0.580	0.070	0.593
Corneal 4th RMS (μm)	0.161	0.216	0.261	0.042*
Corneal 5th RMS (μm)	0.557	<0.0001*	0.556	<0.0001*
Corneal 6th RMS (μm)	0.112	0.389	0.082	0.531
Corneal 7th RMS (μm)	0.316	0.013*	0.197	0.128
Corneal RMS LoA (μm)	0.388	0.002*	0.339	0.008*
Corneal RMS HoA (μm)	0.404	0.001*	0.400	0.001*

Spearman's rank correlation test.

RMS = root mean square; WTR/ATR = with-the-rule/against-the-rule; LoA = low order aberration; HoA = high order aberration.

*p-values less than 0.05.

Table 6. Magnitude of myopia correction after orthokeratologic lens in each group

Variable	Group		p-value
	No decentration	Temporal decentration	
Magnitude of myopia correction (diopters)*	1.726 \pm 1.118	1.765 \pm 0.859	0.638

*Mann-Whitney U test.

이탈의 여러가지 상반되는 장단점을 감안하였을 때 이측편위를 적극적으로 교정해야 할지 여부를 실제 임상에서 결정하기는 때로는 쉽지 않다. 이에 본 연구에서는 이측편위가 시력의 질적인 측면에 영향을 미치는 각막 수차에 어떠한 변화를 일으키는지 확인하기 위해 각막굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위 여부에 따른 각막의 수차 변화를 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계를 이용해서 비교 분석해 보았고, 이측편위 환자에서 전면 및 전체 각막 RMS 값이 더 높았고 개별 수차 중에서는 저위수차인 horizontal tilt와 고위수차인 수평 코마가 대조군 대비 유의하게 더 높았지만, 근시교정량은 중심이탈이 없었던 환자들과 차이를 보이지 않은 결과를 얻었다. 현재까지 국내외에서 각막굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위 환자에게 국한하여, 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계를 이용해 전면 및 전체 각막의 다양한 개별 수차들을 분석한 연구는 없었으며 본 연구가 최초이다.

본 연구에서 전면 및 전체 각막의 저위수차 RMS 및 고위수차 RMS 값 모두 TD군에서 유의하게 더 높았지만, 개별 수차의 비교에서는 10개 중 horizontal tilt, WTR/ATR astigmatism, 수평 코마의 3가지 수차만 군 간 차이를 보였다. 이측 방향 치료영역의 중심이탈 정도에 따른 수차 변화

역시 전면 및 전체 각막의 저위수차 RMS 및 고위수차 RMS 값 모두 유의한 상관 관계를 보인 반면, 개별 각막 수차 중에서는 horizontal tilt 및 수평 코마만 유의한 양의 상관관계를 보였다. Zernike 다항식에 따르면 quadrafoil, secondary astigmatism 등 더 많은 수차들이 존재하지만, 본 연구에서는 Anterior 장비의 분석 가능 수차를 바탕으로 1차 및 2차의 5개 저위 개별 수차와 3차 및 4차의 5개 고위 개별 수차를 분석하였다. 군 간 차이를 보인 3개의 개별 수차 중 1차 수차인 horizontal tilt와 2차 수차인 WTR/ATR astigmatism이 저위수차이고, 3차 수차인 수평 코마가 고위수차임을 감안하였을 때 주로 저위수차에서의 변화가 더 주도적이었음을 알 수 있다. 또한, ND군 대비 TD군에서의 RMS 증가폭은 전면 각막에서 저위수차 RMS는 42.4%, 고위수차 RMS는 31.3%, 전체 각막에서 저위수차 RMS는 38.3%, 고위수차 RMS는 31.5%로서, 전면 및 전체 각막 모두에서 저위수차의 증가가 고위수차의 증가 대비 상대적으로 뚜렷하였다. 고위수차 중 가장 대표적인 2가지 수차가 구면수차와 코마수차로 알려져 있으며,¹⁵ 그중 우리가 흔히 접하는 빛번짐, 빛퍼짐, 빛폭발과 같은 양성 이상광시증의 원인은 주로 구면수차이고^{16,17} 코마수차는 혜성의 꼬리와 같은 이상 감각을 느끼는 데 일조한다. 본 연구 결과 분석

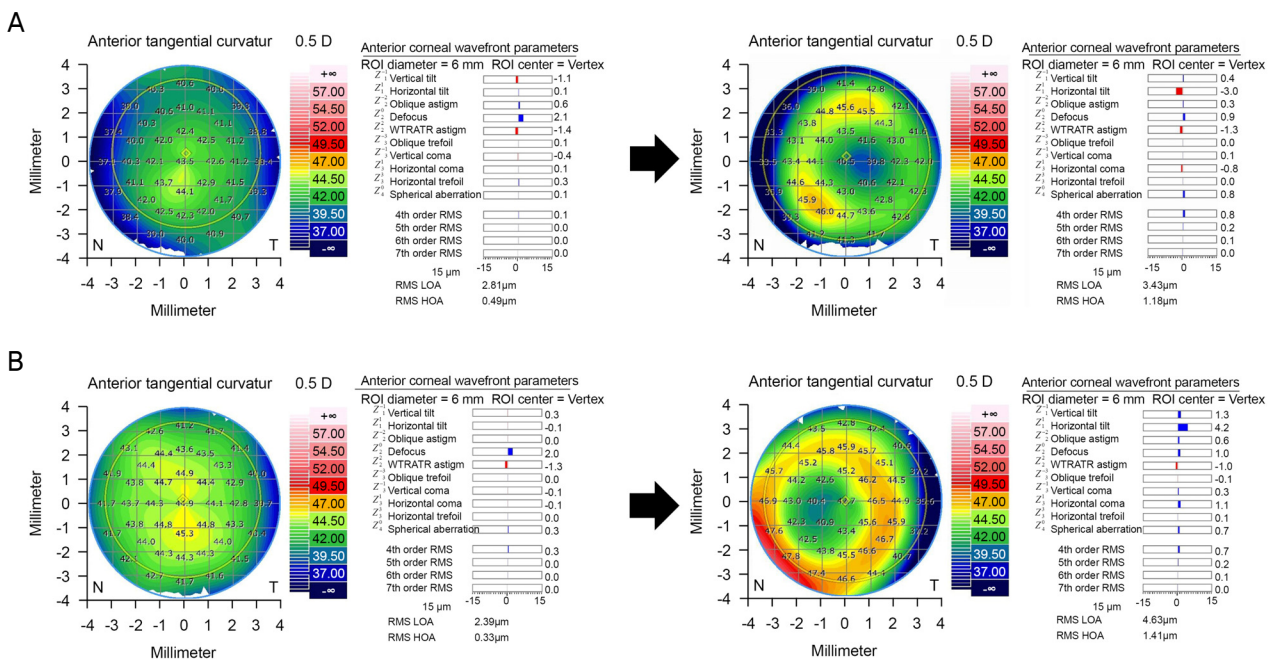


Figure 4. Anterior tangential corneal topographic map and anterior corneal aberration profiles by anterior segment swept-source optical coherence tomography before and after orthokeratologic lens in representative two cases with temporal decentration of orthokeratologic lens. (A, B) In both cases, the anterior corneal RMS LoA and RMS HoA increased after lens treatment. Among individual corneal aberrations, the increase of horizontal tilt was most prominent. D = diopters; RMS = root mean square; LoA = low order aberration; HoA = high order aberration.

가능한 개별 고위수차 중 수평 코마수차만 군 간 유의하게 차이가 있었고, 구면수차는 군 간 차이를 보이지 않았다. Siedlecki et al¹⁷에 의한 최근 연구에 따르면 스마일라식 수술 후 유발된 코마수차는 quality of vision 설문지상 빛폭발을 뚜렷하게 유발한 구면수차와는 달리 빛번짐, 빛퍼짐, 빛폭발, 흐려보임(blurred vision), 시력 변동(fluctuation), 초점 불편감 모두에 영향을 미치지 않았고, 심지어 시각에 관한 방해 효과(bothering effect)에는 오히려 보호 효과가 있다고 밝혀졌다. 또한, 수평 코마수차는 3차 수차 중 주변부 시야결손에 대한 주요인자로 알려져 있으며, 시야각이 커질수록 수차 역시 커지는 시야 위치 의존적인 수차이다.¹⁸ 이를 종합하였을 때, 저자들은 각막굴절교정술 렌즈 치료 영역의 이측편위가 비록 각막의 수차를 상승시키지만 예상과 달리 환자들에게 이상광시증을 심하게 유발하지 않을 수 있으며, 주변부 망막에서 수평 코마수차로 대표되는 탈초점을 유발해서 기전적으로는 근시진행 억제를 강화시킬 수 있을 수 있다고 조심스럽게 추측한다. 이는 대부분 이측 방향의 중심이탈을 포함하고 본 연구와 유사한 평균 거리 0.73 ± 0.25 mm 중증도의 30안을 대상으로 한 Wang and Yang¹³의 과거 연구에서 중심이탈이 근시진행을 유의하게 더 크게 억제한 결과가 뒷받침한다.

흥미롭게도 각막굴절교정술 렌즈 시행 후 TD군에서 ND군 대비 3.0 mm 직경에서의 전체 각막난시와 전면 및 전체 WTR/ATR astigmatism 각막수차가 유의하게 더 높았다. TD군에서는 치료 전후 각막난시의 변화는 없었지만, 오히려 중심이탈이 없었던 ND군에서는 치료 전 전면 각막난시가 1.38 ± 0.76 D에서 치료 후 1.61 ± 0.81 D로 유의하게 증가하였다($p=0.007$, Wilcoxon signed rank test). 원래 각막난시가 많은 환자에서 치료 후에도 각막난시가 많이 남지 않을까라는 가설을 가지고 시행해본 상관분석상 ND군에서 치료 전 각막난시가 클수록 치료 후에도 각막난시가 커졌다($r_s=0.653$, $p<0.0001$, Spearman's rank correlation test, data not shown). 반면, TD군에서는 치료 전후 각막난시 간 상관관계를 보이지 않았다. 관련 과거 연구가 없기 때문에 이의 정확한 해석은 어려우나 원래 직난시 형태의 각막난시가 상대적으로 큰 환자에서 중심이탈이 발생하지 않는다면, toric 각막굴절교정술 렌즈를 착용하지 않는 전제 하에 수직경선에서 중심 주변부 및 주변부 각막과 렌즈 사이의 틈새가 커질 것이고 아시아인의 특징적인 윗눈꺼풀의 강한 장력에 의해 수직 방향에서 렌즈가 일부 눌러서 치료 영역의 수직 길이가 수평 대비 짧아질 수 있다고 생각한다. 그리고 이러한 현상이 3.0 mm 직경에서 측정하는 전면 각막난시에 반영이 될 수 있을 것이다. 본 연구 코호트에서는 두 군 모두 전면 각막난시가 평균 1.0 D를 초과하였기 때문

에 비교적 각막난시가 높은 환자군의 비율이 높았던 점도 이러한 결과를 초래한 원인일 것으로 추정된다. 하지만 환자수가 비교적 적은 본 연구 특성상, 단정적인 해석은 어렵다.

본 연구에 사용된 장비인 2019년에 출시된 Anterion은 1,300 nm 파장의 레이저를 사용하는 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영영계이다. 긴 파장의 레이저를 사용하기 때문에 14.0 mm 깊이로 전안부 단면을 촬영할 수 있고 고해상도의 B스캔 이미지들을 얻을 수 있는 장점이 있으며, 직경 8.0 mm 이내에서 총 65개의 방사형 이미지를 측정해서 전후면 각막곡률뿐만 아니라, 전면 및 전체 각막수차 정보를 다양하게 얻을 수 있다.^{19,20} 또한, 안구 생체계측 정보들 역시 얻을 수 있는데, 최근 한 연구에서 생체계측 정보들이 Anterion과 이중샤임플러그 카메라 전안부 분석계 간 큰 차이가 없다고 보고된 바 있다.²¹ 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영영계 중 유사 장비인 CASIA 2 (Tomey, Nagoya, Japan)와 비교하였을 때 Anterion이 각막의 개별 수차 정보를 더 많이 얻을 수 있는 장점 역시 있다.

과거 라식수술 절삭 영역의 중심이탈이 0.5 mm 이내는 정상 범위로, 0.5-1.0 mm의 중심이탈은 통상적으로 받아들일 수 있는 수준으로 보고된 바 있었다.²² 본 연구에서 TD군의 중심이탈 거리는 0.74 ± 0.15 mm로서 비교적 경도-중증도의 중심이탈 환자들이 주로 포함되었다. 근시 교정량이 두 군 간 차이가 없었고 조사된 고위수차 중 수평 코마 이외에는 두 군 간 차이를 보인 개별 수차는 없었던 점 역시 이 때문이라고 생각된다. 실제 Hiraoka et al⁷의 과거 연구에서 중심이탈 정도와 코마수차 및 구면수차가 유의한 상관관계를 보였는데, 해당 연구의 대상자의 평균 중심이탈 거리는 0.85 ± 0.51 mm로서 본 연구보다 더 심한 환자들을 대상으로 하였다.

본 연구는 후향적 연구이고 비교적 적은 환자를 대상으로 한 한계를 가진다. 비록 렌즈 착용 후 측정된 각막 수차와 이측 방향 치료영역의 중심이탈 정도 간 상관분석을 시행하였으나, 착용 전 각막 수차 정보 부재로 착용 전후 각막 수차의 변화와 중심이탈 정도 간 상관성을 분석할 수 없었던 점 역시 한계점으로 남는다. 이는 향후 다수의 환자를 포함한 전향적 연구를 통해 이측 방향 중심이탈 정도에 따른 각막 수차의 변화 양상에 대한 보다 정확한 평가 및 해석이 필요하겠다.

비록 본 연구에서 이측편위군에서 일반적인 양성 이상광시증을 유발하는 구면수차를 증가시키지 못하였고 근시교정량이 대조군과 차이가 없었다 할지라도 환자의 주관적인 시력의 질적 차이를 분석하지 못하였기 때문에 심하지 않은 치료영역의 이측편위를 임상적으로 허용 가능하다고 단정지어 판단하기에는 무리가 있다. 향후 많은 수의 이측

편위 환자들에서 시력의 질적 차이를 설문 조사하고 중심 이탈 중증도에 따라 각막 수차와의 상관성을 분석하는 연구를 수행하여 근시교정량을 저하시키지 않고 시력의 질적 저하를 유발하지도 않는 중심이탈 거리의 cut off 값을 도출할 수 있다면 임상적으로 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* 2016;123:1036-42.
- 2) Dong L, Kang YK, Li Y, et al. Prevalence and time trends of myopia in children and adolescents in China: a systemic review and meta-analysis. *Retina* 2020;40:399-411.
- 3) Swarbrick HA. Orthokeratology review and update. *Clin Exp Optom* 2006;89:124-43.
- 4) Wen D, Huang J, Chen H, et al. Efficacy and acceptability of orthokeratology for slowing myopic progression in children: a systematic review and meta-analysis. *J Ophthalmol* 2015;2015:360806.
- 5) Na KS, Yoo YS, Hwang HS, et al. The influence of overnight orthokeratology on ocular surface and meibomian glands in children and adolescents. *Eye Contact Lens* 2016;42:68-73.
- 6) Liu YM, Xie P. The safety of orthokeratology--a systematic review. *Eye Contact Lens* 2016;42:35-42.
- 7) Hiraoka T, Mihashi T, Okamoto C, et al. Influence of induced decentered orthokeratology lens on ocular higher-order wavefront aberrations and contrast sensitivity function. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1918-26.
- 8) Chen J, Huang W, Zhu R, et al. Influence of overnight orthokeratology lens fitting decentration on corneal topography reshaping. *Eye Vis (Lond)* 2018;5:5.
- 9) Maseedupally VK, Gifford P, Lum E, et al. Treatment zone decentration during orthokeratology on eyes with corneal toricity. *Optom Vis Sci* 2016;93:1101-11.
- 10) Yang X, Zhong X, Gong X, Zeng J. Topographical evaluation of the decentration of orthokeratology lenses. *Yan Ke Xue Bao* 2005;21:132-5, 95.
- 11) Chen Z, Xue F, Zhou J, et al. Prediction of orthokeratology lens decentration with corneal elevation. *Optom Vis Sci* 2017;94:903-7.
- 12) Zhang S, Zhang H, Li L, et al. Effect of treatment zone decentration on axial length growth after orthokeratology. *Front Neurosci* 2022;16:986364.
- 13) Wang A, Yang C. Influence of overnight orthokeratology lens treatment zone decentration on myopia progression. *J Ophthalmol* 2019;2019:2596953.
- 14) Sun L, Li ZX, Chen Y, et al. The effect of orthokeratology treatment zone decentration on myopia progression. *BMC Ophthalmol* 2022;22:76.
- 15) Wang L, Koch DD. Ocular higher-order aberrations in individuals screened for refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1896-903.
- 16) Kligman BE, Baartman BJ, Dupps WJ Jr. Errors in treatment of lower-order aberrations and induction of higher-order aberrations in laser refractive surgery. *Int Ophthalmol Clin* 2016;56:19-45.
- 17) Siedlecki J, Schmelter V, Schworm B, et al. Corneal wavefront aberrations and subjective quality of vision after small incision lenticule extraction. *Acta Ophthalmol* 2020;98:e907-13.
- 18) Shen J. Ocular Aberrations and Image Quality, Contact Lens and MYOPIA Progression. In: Davey P, ed. *Ophthalmology: Current Clinical and Research Updates*. London: IntechOpen, 2014; v. 1. chap. 8.
- 19) Ruiz-Mesa R, Aguilar-Córcoles S, Montés-Micó R, Tañá-Rivero P. Ocular biometric repeatability using a new high-resolution swept-source optical coherence tomographer. *Expert Rev Med Devices* 2020;17:591-7.
- 20) Kim KY, Choi GS, Kang MS, Kim US. Comparison study of the axial length measured using the new swept-source optical coherence tomography ANTERION and the partial coherence interferometry IOL Master. *PLoS One* 2020;15:e0244590.
- 21) Wanichwecharungruang B, Amornpetchsathaporn A, Kongsomboon K, et al. Clinical evaluation of ocular biometry of dual Scheimpflug analyzer, GALILEI G6 and swept source optical coherence tomography, ANTERION. *Sci Rep* 2022;12:3602.
- 22) Tsai YY, Lin JM. Ablation centration after active eye-tracker-assisted photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:28-34.

= 국문초록 =

각막굴절교정술 렌즈 치료영역 이측편위가 파장가변 빛간섭단층촬영계상 각막 수차에 미치는 영향

목적: 각막굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위가 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계로 측정된 각막 수차에 미치는 영향을 알아보았다.

대상과 방법: 각막굴절교정술 렌즈 착용 후 전안부 파장가변 빛간섭단층촬영계(Anterior, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)상 전면, 후면 및 전체 각막난시, 전면 및 전체 각막의 1-4차 개별 수차의 절대값, 4-7차 root mean square (RMS), 저위 및 고위수차 RMS를 수집하였다. 중심이탈이 없는 대조군(no decentration, ND)과 이측편위 환자군(temporal decentration, TD)으로 구분하여 수집값들을 군 간 비교하였다.

결과: 총 32명 61안(ND군 44안, TD군 17안)이 분석에 포함되었다. TD군의 이측편위 평균 거리는 0.74 ± 0.15 mm였다. 기저 안축장, 구면대응치, 전면 평균 각막굴절력 및 전면 각막난시는 군 간 차이가 없었다. TD군에서 ND군 대비 전면 및 전체 각막의 horizontal tilt와 수평 코마가 더 높았고, with-the-rule (WTR)/against-the-rule (ATR) astigmatism이 더 낮았다. 전면 및 전체 각막 5차 RMS, 저위수차 RMS 및 고위수차 RMS 모두 TD군에서 ND군 대비 더 높았다. 두 군 간 근시교정량에는 유의한 차이를 보이지 않았다.

결론: 각막굴절교정술 렌즈 치료영역의 이측편위 발생 시, 비록 근시 감소 효과는 유의한 영향을 받지 않았지만 전면 및 전체 각막의 저위 및 고위수차 RMS가 증가하고 개별 수차 중에서는 저위수차인 horizontal tilt와 고위수차인 수평 코마가 증가하였다.
(대한안과학회지 2024;65(5):309-319)

허정선 / Jung Sun Heo

Department of Ophthalmology, Chung-Ang
University Hospital, Chung-Ang University
College of Medicine