

# 각막굴절교정렌즈의 장기 착용이 소아 근시에서 안축장의 성장에 미치는 영향: 2-3년 관찰 연구

## Long-term Effect of Orthokeratology Lenses on Axial Length Elongation in Myopia: 2-3 Years Follow-up Study

전성연<sup>1</sup> · 김현경<sup>1,2</sup> · 김철우<sup>1,2</sup> · 이상목<sup>1,2</sup>

Sung Yeon Jun, MD<sup>1</sup>, Hyun Kyung Kim, MD, PhD<sup>1,2</sup>, Chul Woo Kim, MD, PhD<sup>1,2</sup>, Sang-Mok Lee, MD, PhD<sup>1,2</sup>

한길안과병원<sup>1</sup>, 가톨릭관동대학교 의과대학 안과학교실<sup>2</sup>

Hangil Eye Hospital<sup>1</sup>, Incheon, Korea

Department of Ophthalmology, Catholic Kwandong University College of Medicine<sup>2</sup>, Gangneung, Korea

**Purpose:** To evaluate the effect of orthokeratology lenses on axial length elongation and associated factors in eyes treated with orthokeratology lenses for 2-3 years.

**Methods:** Thirty-four eyes of 20 patients treated with orthokeratology lenses for more than 22 months were enrolled into the orthokeratology (OK) group. Uncorrected distant visual acuity, spherical equivalent, axial length, and high-order aberrations of the anterior cornea at baseline and during the follow-up period were analyzed retrospectively. Spectacle-wearing patients matched with the OK group patients by sex, age, refractive error and follow-up period were selected as a control group. To adjust for follow-up period differences, the 24-month conversion axial length changes were calculated and compared between the two groups.

**Results:** The 24-month conversion mean axial length change showed significant differences ( $0.50 \pm 0.23$  mm in the OK group versus  $1.00 \pm 0.28$  mm in the control group;  $p < 0.001$ ). For the OK group, the age at starting OK lens ( $r = -0.572$ ,  $p = 0.001$ ) showed statistically significant correlation with axial elongation. The anterior corneal spherical aberrations (SA) and coma with 6 mm pupil at last follow-up (SA:  $r = 0.543$ ,  $p = 0.001$ ; coma:  $r = 0.420$ ,  $p = 0.017$ ) and the total SA and total coma changes ( $\Delta$ SA:  $r = 0.518$ ,  $p = 0.002$ ;  $\Delta$ coma:  $r = 0.420$ ,  $p = 0.017$ ) also showed a statistically significant correlation. The initial age and axial length, the anterior corneal SA and  $\Delta$ SA values were identified as factors significantly correlated with axial length elongation by multiple regression analysis.

**Conclusions:** The OK lens effectively suppressed axial length elongation during a 2-3 years treatment period. However, when the age of starting OK lens was younger and the anterior corneal spherical aberration during the follow-up period was larger, the risk of axial elongation was higher.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(8):897-904

**Keywords:** Axial length, Corneal wavefront aberration, Myopia, Orthokeratology

■ Received: 2019. 7. 26.      ■ Revised: 2019. 12. 25.

■ Accepted: 2020. 7. 29.

■ Address reprint requests to Sang-Mok Lee, MD, PhD  
Hangil Eye Hospital, #35 Bupyeong-daero, Bupyeong-gu,  
Incheon 21388, Korea  
Tel: 82-32-503-3322, Fax: 82-32-504-3322  
E-mail: lsm10003@gmail.com

\* This study was presented as a lecture at the 120th Annual Meeting of the Korean Ophthalmology Society 2018.

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

근시는 매우 흔한 안과 질환으로서, 전 세계적으로 유병률이 증가하고 있다.<sup>1</sup> 2008년부터 2012년까지 시행된 3차 국민영양조사 제5기에 따르면 근시의 유병률은 우리나라 5세 이상 인구에서 54.2%, 5세부터 20세 사이 인구의 66%로 전체 인구의 높은 비율이 근시에 해당된다.<sup>2</sup> 또한 근시는 퇴행근시, 망막박리, 맥락막신생혈관, 근시녹내장 등 다양한 합병증과 관련될 수 있다.<sup>3</sup> 근시에 의한 사회 경제적 지

© 2020 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.

출이 증가함에 따라 근시에 대한 관심도 증가하고 있으며, 이에 근시의 진행을 억제하기 위한 점안제, 안경, 콘택트렌즈 등 다양한 방법들이 시도되고 있다.<sup>4</sup>

각막굴절교정렌즈는 각막 형태를 변형시켜 근시를 일시적으로 조절하는 방법으로, 근시 진행 억제에도 효과가 있다고 보고되었다.<sup>5,6</sup> 각막굴절교정렌즈의 근시 진행 억제 기전에는 여러 가지 가설이 존재한다. 동물을 대상으로 한 실험에 의하면 주변부 망막의 원시화가 근시 진행과 관련 있을 수 있으며, 다른 연구에서는 섬모체 소대의 조절 지연과 근시 진행 기전이 연관되어 있을 가능성이 보고된 바 있다. 이에 대한 다양한 연구가 진행 중이다.<sup>7-9</sup>

각막굴절교정렌즈의 착용과 근시 진행 사이 관계에 대해서 해외뿐 아니라 국내에서도 다양한 방식의 임상보고가 이루어져 있고, 국내에서는 각막굴절교정렌즈 착용 후 최대 1년의 경과 관찰 기간 동안의 안축장, 굴절값 변화 등을 통한 근시 진행 정도에 대한 통계 분석 논문들이 보고되어 있지만, 국내 학술지에 장기 결과 보고는 없는 실정이다. 이에 저자는 각막굴절교정렌즈를 착용하고 22개월 이상 경과 관찰된 환아를 대상으로 각막굴절교정렌즈 착용이 소아의 안축장 성장에 미치는 영향을 대조 분석하고, 고위수차를 포함하여 안축장 성장과 유의미한 상관관계를 갖는 다양한 인자에 대하여 분석해보고자 하였다.

## 대상과 방법

2015년 7월부터 2016년 10월까지 본원에서 각막굴절교정렌즈를 처방 받은 환아와 안경을 착용한 대조군을 대상으로 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 대상 환아는 렌즈를 착용하고 22개월 이상 경과 관찰된 환아 중 -1.0 (diopters, D)부터 -5.0 D 사이의 근시값과, -1.5 D 이하의 난시 값을 가지고, 렌즈 착용 부작용이나 약물력, 전신 과거력, 눈떨림, 사시, 약시 등 안과적 과거력이 없는 20명 34안을 렌즈 착용군으로 포함시켰다. 단안 근시의 경우 -1.5 D 이상인 경우 렌즈를 착용하였고 그 눈만 연구에 포함시켰다(Table 1). 대조군으로는 본원에서 안경을 처방받은 뒤 경과 관찰된 환아 중 렌즈 착용군 환아와 성별, 나이(±12개월), 최초 구면렌즈대응치(±0.5 D), 추적 관찰 기간(±6개월)을 맞춘 환아를 짝지어 렌즈 착용군 환아와 비교 분석하였다. 해당 연구 내용은 한길안과병원 임상시험심사위원회와 윤리위원회의 심사를 통과하였다(승인 번호: IRB-19004).

모든 대상 환자는 렌즈 처방 전에 조절마비 하에 시행한 자동굴절검사기(RK-F1, Canon®, Tokyo, Japan) 및 검영굴절검사기(Retinoscopy, Welch Allyn®, New York, NY, USA)를 통한 타각적 굴절검사와 각막지형도검사(Atlas 9000, Carl Zeiss®, Oberkochen, Germany) 결과를 토대로 도수와 기본만곡도를 정하였다. 렌즈를 시험적으로 착용한 후에는 세극등현미경을 이용하여 렌즈의 움직임, 중심안정, 형광염

**Table 1.** Ortho-k group inclusion and exclusion criteria

Inclusion	Exclusion
1. Ages from 6 to 16 years	1. Strabismus by a cover-uncover test either with or without refractive correction
2. Spherical equivalent from -4.0 D to -1.0 D myopia (binocular myopia)	2. Known ocular, systemic or neurodevelopmental deviations
3. Spherical equivalent from -4.0 D to -1.5 D myopia (monocular myopia)	3. Medications that might affect refractive development
4. Astigmatism less than -1.5 D	4. Less than 2 years follow-up period
5. Best-corrected visual acuity of LogMAR 0.04 or better in both eye	5. Poor compliance

Ortho-k = orthokeratology; D = diopters; LogMAR = logarithm of the minimum angle of resolution.

**Table 2.** Baseline demographics and clinical information of ortho-k and control groups

Characteristic	Ortho-k group	Control group	p-value*
Age (years)	10.8 ± 0.7 (8.8 to 12.3)	10.6 ± 1.0 (7.3 to 12.6)	0.678
Sex (male:female)	5:15	5:15	-
Follow-up period (months)	28.0 ± 4.9 (22 to 37)	28.5 ± 5.2 (22 to 38)	0.344
Manifest S.E (D)	-1.5 ± 0.5 (-2.25 to -0.75)	-1.6 ± 0.4 (-2.75 to -0.75)	0.292
BCVA (logMAR)	0.00 ± 0.01 (0.0 to 0.04)	0.00 ± 0.04 (0.00 to 0.09)	0.355
Initial axial length (mm)	23.90 ± 0.72 (22.37 to 25.31)	23.60 ± 0.74 (22.10 to 25.33)	0.135

Values are presented as mean ± standard deviation (range) or number.

Ortho-k = orthokeratology; S.E = spherical equivalent; D = diopters; BCVA = best corrected visual acuity; logMAR = logarithm of the minimum angle of resolution.

\*p-value was acquired from unpaired t-test.

색 형태 등을 확인하였고, 덧댐굴절검사를 시행하여 렌즈 도수를 정하였다. 본 연구에 사용된 렌즈에는 LK 렌즈 (Lucid Korea Lens®, Lucid Korea, Seoul, Korea) 20안, Fargo 렌즈(GP Specialists Ltd®, San Diego, CA, USA) 9안, Paragon CRT 렌즈(Paragon CRT®, Paragon Vision Sciences, Gilbert, AZ, USA) 3안, Emerald 렌즈(Emerald Ortho-K®, Euclid Systems Corp, Herndon, VA, USA) 2안이다.

렌즈 착용 후에는 적절한 렌즈를 찾은 후 1주, 1달, 이후 3달에 한 번씩 외래로 내원하여 경과 관찰하였다. 경과 관찰 시점에는 현성굴절검사, 세극등현미경검사, 각막지형도 검사 및 안축장검사(IOL Master 700, Carl Zeiss®)를 시행하여 부작용 유무, 렌즈 순응도, 도수 적합 등을 확인하였다. 착용 후 렌즈 위치가 중심에서 이탈하거나 시력 및 구면렌즈 대응치가 만족스럽지 못한 기간이 지속되는 경우에는 렌즈군에서 제외하였다.

안축장은 부분빛간섭계(IOL Master 700, Carl Zeiss®)를 사용하여 렌즈 착용 전 시작 시점과 22개월 이상인 최종 경과 관찰 시점에 각각 5차례 이상 측정된 안축장의 평균을 각 시점의 안축장으로 설정하였다. 최종 경과 관찰 시점의 안축장에서 렌즈 착용 전 시작 시점 안축장을 뺀 값을 총 안축장 변화량으로 설정하고, 추적 관찰 기간의 차이에 따른 오차를 줄이기 위하여 이 값을 총 추적 관찰 개월수로 나눈 뒤 24개월을 곱하여 24개월 환산 안축장 변화량 값을 구하였다.

$$24\text{개월 환산 안축장 변화량 (mm)} = \frac{\text{총 안축장 변화량 (mm)}}{\text{추적 관찰 개월수 (mo)}} \times 24\text{개월 (mo)}$$

**Table 3.** Number of patients with the follow-up period (month) in Ortho-k and control groups

	From 22 to 26 mo	From 27 to 30 mo	From 31 to 37 mo
Ortho-k group	15 (46.8)	8 (25.0)	9 (28.2)
control group	14 (43.7)	9 (28.2)	9 (28.2)

Values are presented as number (%).

Ortho-k = orthokeratology; mo = months.

**Table 4.** Comparison of axial length changes in Ortho-k and control groups

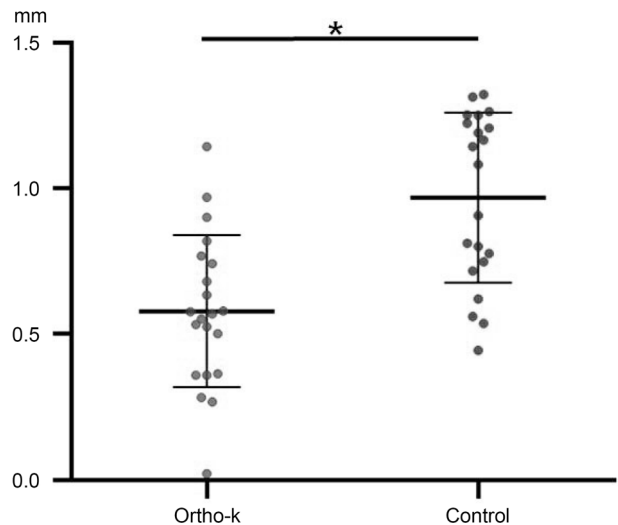
	Ortho-k group (n = 20)	Control group (n = 20)	p-value*
Initial axial length (mm)	23.90 ± 0.72 (22.37-25.31)	23.60 ± 0.74 (22.10-25.33)	0.135
Final axial length (mm)	24.50 ± 0.65 (23.16-25.72)	24.80 ± 0.94 (23.16-26.65)	0.341
Mean follow up (month)	28.0 ± 4.9 (22-37)	28.5 ± 5.2 (22-38)	0.344
24-months axial length change (mm)	0.50 ± 0.23 (0.02-1.11)	1.00 ± 0.28 (0.44-1.32)	<0.001

Values are presented as mean ± standard deviation (range).

Ortho-k = orthokeratology.

\*p-value < 0.05, unpaired t-test.

각막 전면 고위수차는 플라시도 디스크 방식을 활용한 각막지형도검사(Atlas 9000, Carl Zeiss®)를 사용하여 구하였다. 렌즈 착용 전과 경과 관찰 시점에 6 mm 크기 각막 전면에 대하여 수직 코마수차(vertical coma), 수평 코마수차(horizontal coma), 구면수차(spherical aberration)값을 측정하였다. 코마수차의 경우 방향성을 가지고 있기 때문에 추가로 수직 및 수평 코마수차값을 벡터 합 연산법으로 합한 전체 코마수차를 계산하였다. 렌즈 착용군에서 렌즈 착용 후 최종경과 관찰 시점에 측정한 구면수차, 코마수차와 경과 관찰 기간 동안의 구면수차, 코마수차 변화량을 24개월 환산 안축장 변화량과 상관관계를 분석하였다. 통계 분석은 SPSS statistics 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하였으며, p<0.05인 경우 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.



**Figure 1.** Scatter dot plot of 24-months axial length change in the orthokeratology group and control group. Twenty four-months axial length change was larger in the control group compared with that in the orthokeratology group. Values are presented as mean ± standard deviation (range). Ortho-k = orthokeratology. \*p < 0.05, Mann-Whitney U-test.

## 결 과

각막굴절교정렌즈군에 포함된 대상 환자는 총 20명의 34안이었고, 남자 5명 9안, 여자 15명 25안이었으며, 평균 연령은  $10.8 \pm 0.7$  (8.8-12.3)세였다. 평균 추적 관찰 기간은  $28.0 \pm 4.9$  (22-37)개월이었다. 렌즈 처방 전에 측정된 구면 렌즈대응치는 평균  $-1.5 \pm 0.5$  (-2.25 to -0.75) D, 최대교정시력(logarithm of the minimum angle of resolution [LogMAR])은  $0.00 \pm 0.01$  (0.00-0.04), 안축장은  $23.90 \pm 0.72$  (22.37-25.31) mm였다. 대조군으로 포함된 34안도 남자 5명 9안, 여자 15명 25안이었으며, 평균 연령은  $10.6 \pm 1.0$  (7.3-12.6)세였다. 평균 추적 관찰 기간은  $28.5 \pm 5.2$

(22-38)개월이었다. 연구에 포함되는 시점의 구면렌즈대응치는 평균  $-1.6 \pm 0.4$  (-2.75 to -0.75) D, 최대교정시력(LogMAR)은  $0.00 \pm 0.04$  (0.00-0.09), 안축장은  $23.60 \pm 0.74$  (22.10-25.33) mm였다. 각막굴절교정렌즈군과 대조군 사이에 성별, 나이, 추적 관찰 기간, 최초 구면렌즈대응치, 안축장 사이의 유의한 통계적인 차이는 없었다(unpaired *t*-test,  $p > 0.05$ ) (Table 2). 렌즈군과 대조군에서 추적 관찰 기간에 따른 분류에 해당되는 환자들의 수는 다음과 같았다(Table 3).

각막굴절교정렌즈군에서 렌즈 착용 시작 시점의 안축장은  $23.90 \pm 0.72$  (22.37-25.31) mm, 최종 안축장은  $24.50 \pm 0.65$  (23.16-25.72) mm였으며, 24개월 환산 평균 안축장 변화량은  $0.50 \pm 0.23$  (0.02-1.11) mm였다. 대조군에서 최초 경과 관찰 시점의 안축장은  $23.60 \pm 0.74$  (22.10-25.33) mm, 최종 경과 관찰 시점의 안축장은  $24.80 \pm 0.94$  (23.16-26.65) mm였으며, 24개월 환산 안축장 변화량은  $1.00 \pm 0.28$  (0.44-1.32) mm였다. 두 군 사이에서 최초 및 최종 안축장과 경과 관찰 기간은 유의한 차이가 없었으나(unpaired *t*-test, 각각  $p = 0.135$ ,  $p = 0.341$ ,  $p = 0.344$ ), 24개월 환산 안축장 변화량은 통계적으로 유의한 차이가 확인되었다(unpaired *t*-test,  $p < 0.001$ ) (Table 4, Fig. 1).

또한 각막굴절교정렌즈군에서 근시 진행과 관련 있을 수 있는 렌즈 착용 전 인자들과 24개월 환산 안축장 변화량과의 상관관계를 분석하였다. 렌즈 착용시작 연령, 렌즈 착용 전 구면렌즈대응치, 렌즈 착용 전 안축장, 중심각막두께, 각막윤부 직경, 동공 직경에 대하여 상관관계 분석한 결과 렌즈 착용시작 연령만 24개월 환산 안축장 변화량과 의미 있는 음의 상관관계가 있는 것으로 분석되었다(Pearson's correlation,  $r = -0.572$ ,  $p = 0.001$ ) (Table 5). 추가로 렌즈 착용 후 6 mm 직경 각막 전면에 대하여 측정한 최종 고위수차값 또는 그 24개월 환산 안축장 변화량 간의 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석에 앞서 시행한 렌즈 착용 전과 후 각막 전면 고위수차 변화 분석에서는 6 mm 직경 각막 전면 구면 수차값은 렌즈 착용 전  $0.44 \pm 0.07 \mu\text{m}$ , 후  $0.86 \pm 0.33 \mu\text{m}$ 로 유의하게 렌즈 착용 후 증가되었으며(paired

**Table 5.** Correlations between 24 months axial length elongation and pre-fitting and post-fitting parameters in Ortho-k group

	$\Delta\text{AXL}_{24}$ (mm)	
	Pearson's <i>r</i>	<i>p</i> -value
Pre-fitting parameters		
Initial age (years)	-0.572	0.001*
Initial S.E (D)	0.041	0.823
Initial AXL (mm)	-0.345	0.053
CCT ( $\mu\text{m}$ )	-0.125	0.496
WTW (mm)	-0.225	0.215
PD (mm)	0.009	0.959
Post-fitting parameters†		
Post-S.E. (D)	0.183	0.317
$\Delta$ S.E. (D)	0.107	0.560
Post-S.A.	0.543	0.001*
$\Delta$ S.A.	0.518	0.002*
Post-Coma	0.420	0.017*
$\Delta$ Coma	0.396	0.025*

Ortho-k = orthokeratology;  $\Delta\text{AXL}_{24}$  = 24-month conversion axial length change; S.E = spherical equivalent; D = diopters; AXL = axial length; CCT = central corneal thickness; WTW = white to white diameter; PD = pupil diameter; Post = post treatment;  $\Delta$  = changes of value between pre- and post-treatment; S.A. = spherical aberration; Coma = coma aberration.

\**p*-value < 0.05, Pearson's correlation analysis; † anterior corneal high order aberrations.

**Table 6.** Change of anterior corneal high order aberration before and after Orthokeratology

	Pre treatment ( $\mu\text{m}$ )	Post treatment ( $\mu\text{m}$ )	<i>p</i> -value*
Vertical coma ( $C_3^{-1}$ )†	$0.15 \pm 0.07$ (0.00-0.26)	$0.49 \pm 0.49$ (0.03-1.99)	0.001
Horizontal coma ( $C_3^1$ )†	$0.12 \pm 0.07$ (0.01-0.26)	$0.46 \pm 0.43$ (0.02-1.92)	<0.001
Total coma‡	$0.21 \pm 0.07$ (0.08-0.32)	$0.74 \pm 0.57$ (0.04-2.39)	<0.001
SA ( $C_4^0$ )	$0.44 \pm 0.07$ (0.22-0.56)	$0.86 \pm 0.33$ (0.35-2.00)	<0.001

Values are presented as mean  $\pm$  standard deviation (range).

SA = spherical aberration.

\**p*-value < 0.05, paired *t*-test analysis; † absolute value; ‡ coma vector analysis.

t-test,  $p < 0.001$ ), 6 mm 각막 전면에 대한 수평, 수직, 전체 코마수차값도 각각 렌즈 착용 전  $0.15 \pm 0.07 \mu\text{m}$ ,  $0.12 \pm 0.07 \mu\text{m}$ ,  $0.21 \pm 0.07 \mu\text{m}$ 에서, 렌즈 착용 후  $0.49 \pm 0.49 \mu\text{m}$ ,  $0.46 \pm 0.43 \mu\text{m}$ ,  $0.74 \pm 0.57 \mu\text{m}$ 로 렌즈 착용 후 유의하게 증가되었다(paired t-test, 각각  $p = 0.001$ ,  $p < 0.001$ ,  $p < 0.001$ ) (Table 6). 이후 시행한 각막 전면 고위수차와 24개월 환산 안축장 변화량 사이의 상관관계 분석에서는, 최종 경과 관찰 시점의 6 mm 각막 전면에 대한 구면수차(Pearson's correlation,  $r = 0.543$ ,  $p = 0.001$ ), 전체 코마수차(Pearson's correlation,  $r = 0.420$ ,  $p = 0.017$ ), 렌즈 착용 전과 후 사이의 구면수차 변화량(Pearson's correlation,  $r = 0.518$ ,  $p = 0.002$ )과 전체 코마수차 변화량(Pearson's correlation,  $r = 0.396$ ,  $p = 0.025$ )이 모두 각각 24개월 환산 안축장 변화량과 통계적으로 유의하게 양의 상관관계가 있는 것으로 분석되었다(Table 5).

추가로 렌즈 착용 후 고위수차와 근시교정량의 관계를 분석하였다. 렌즈 착용 후 6 mm 각막 전면에 대한 최종 코마 및 구면수차는 렌즈 착용 전후의 구면렌즈 대응치 변화량(근시 교정량)과 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보

였으나(Pearson's correlation: spherical aberration;  $r = 0.363$ ,  $p = 0.041$ ; Coma:  $r = 0.365$ ,  $p = 0.040$ ; Table 7), 구면렌즈 대응치 변화량 자체는 24개월 환산 안축장 변화량과 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Pearson's correlation: r-value 0.107,  $p$ -value 0.560, Table 5; Multiple regression analysis:  $\beta$ -coefficient 0.543,  $p$ -value 0.560, Table 8).

여러 인자들의 상호작용을 보정하기 위하여 렌즈 착용 전 인자들과 렌즈 착용 후 각막 전면 고위수차값을 독립변수로 하고 24개월 환산 안축장 변화량을 종속변수로 한 다중회귀분석(multiple regression analysis)에서는 렌즈 착용 시작 연령과 렌즈 착용 후 6 mm 각막 전면에 대한 구면수차값, 추가로 렌즈 착용시작 안축장이 통계적으로 유의한 관련인자로 분석되었고(착용시작 연령:  $\beta = -0.447$ ,  $p = 0.001$ ; 최종 구면수차값:  $\beta = 0.431$ ,  $p = 0.002$ ; 착용시작 안축장:  $\beta = -0.333$ ,  $p = 0.009$ ; Table 8), 렌즈 착용 후 6 mm 각막 전면에 대한 구면수차값을 렌즈 착용 전후 각막 전면 고위수차 변화량으로 변경한 후 다시 분석한 다중회귀분석에서도 렌즈 착용시작 연령과 렌즈 착용 전후 6 mm 각막 전면에 대한 구면수차 변화량, 렌즈 착용시작 안축장이 통계적으로 유의한 관련인자로 분석되었다(착용시작 연령:  $\beta = -0.439$ ,  $p = 0.001$ ; 최종 구면수차 변화량:  $\beta = 0.444$ ,  $p = 0.001$ ; 착용시작 안축장:  $\beta = -0.378$ ,  $p = 0.004$ ; Table 8). 다중회귀분석에서는 코마수차는 유의한 관련인자로 분석되지 않았다.

**Table 7.** Correlations between the changes of the spherical equivalent and the post-fitting high order aberration values in Ortho-k group

	Post-S.A.	$\Delta$ S.A.	Post-Coma	$\Delta$ Coma
$\Delta$ S.E. (D)				
r-value	0.363	0.315	0.365	0.329
p-value	0.041*	0.079	0.040*	0.066

Ortho-k = orthokeratology; Post = post treatment; S.A. = spherical aberration;  $\Delta$  = changes of value between pre- and post-treatment; Coma = coma aberration; S.E. = spherical equivalent.

\*p-value < 0.05, Pearson's correlation test.

## 고 찰

각막굴절교정렌즈는 각막 형태를 변형시켜 일시적으로 근시를 교정할 뿐 아니라, 소아에서 안축장 성장을 유의하게 억제함이 보고되고 있다. Hiraoka et al<sup>10</sup>는 5년 경과 관

**Table 8.** Multiple regression analysis between axial length elongation ( $\Delta$ AXL<sub>24</sub>) and parameters in Ortho-k group

	Univariate analysis			Multivariate analysis-A			Multivariate analysis-B		
	$\beta$ -coeff.	Std. error	p-value	$\beta$ -coeff	Std. error	p-value	$\beta$ -coeff.	Std. error	p-value
Initial age <sup>††</sup> (years)	-0.572	0.054	0.001 <sup>‡</sup>	-0.447	0.044	0.001 <sup>‡</sup>	-0.439	0.044	0.001 <sup>‡</sup>
Initial S.E. <sup>††</sup> (D)	0.042	0.100	0.821	-	-	-	-	-	-
Initial AXL <sup>††</sup> (mm)	-0.345	0.057	0.053	-0.333	0.039	0.009 <sup>‡</sup>	-0.378	0.039	0.004 <sup>‡</sup>
Post S.E. <sup>††</sup> (D)	0.183	0.094	0.317	-	-	-	-	-	-
$\Delta$ S.E. <sup>††</sup> (D)	0.543	0.071	0.560	-	-	-	-	-	-
Post S.A. <sup>*</sup>	0.420	0.110	0.001 <sup>‡</sup>	0.431	0.088	0.002 <sup>‡</sup>	-	-	-
Post Coma <sup>*</sup>	0.107	0.113	0.002 <sup>‡</sup>	-	-	-	-	-	-
$\Delta$ S.A. <sup>†</sup>	0.518	0.082	0.017 <sup>‡</sup>	-	-	-	0.444	0.089	0.001 <sup>‡</sup>
$\Delta$ Coma <sup>†</sup>	0.396	0.071	0.025 <sup>‡</sup>	-	-	-	-	-	-

$\Delta$ AXL<sub>24</sub> = 24-month conversion axial length change; Ortho-k = orthokeratology; Std. error = standard error of the estimate; Post = post treatment; S.E. = spherical equivalent; D = diopters; AXL = axial length;  $\Delta$  = changes of value between pre- and post-treatment; S.A. = spherical aberration; Coma = coma aberration.

<sup>\*</sup>The multivariate analysis with the initial and the post-treatment corneal high order aberration parameters; <sup>†</sup>the multivariate analysis with the initial and the changes of corneal high order aberration parameters; <sup>‡</sup>p-value < 0.05, Multiple regression analysis.

찰 기간 동안의 렌즈군과 안경군에서 안축장 변화는 각각  $0.99 \pm 0.47$  mm,  $1.41 \pm 0.68$  mm로 통계적으로 유의하게 차이가 있었다고 보고하였다( $p=0.024$ , unpaired *t*-test). 국내에서도 Kim et al<sup>11</sup>이 1년 경과 관찰 기간 동안 안축장 변화 값을 렌즈군에서  $0.24 \pm 0.29$  mm, 안경군에서  $0.42 \pm 0.20$  mm로 보고한 바 있다. 본 연구에서도 2년 경과 관찰 기간 동안 렌즈군과 안경군에서 24개월 환산 평균 안축장 변화량이 각각  $0.50 \pm 0.23$  mm,  $1.00 \pm 0.28$  mm로 유의한 차이를 확인하였다(unpaired *t*-test,  $p<0.001$ ).

Kakita et al<sup>12</sup>는 2년 경과 관찰 기간 동안 45명의 렌즈군과 60명의 안경군의 총 안축장 변화량을 각각  $0.39 \pm 0.27$  mm,  $0.61 \pm 0.24$  mm로 보고하였는데, 이는 저자가 보고한 2년 환산 안축장 변화량보다 작은 값이다. 이는 이전 연구의 렌즈 착용 환자의 렌즈 시작 평균 연령은  $12.0 \pm 2.6$ 세이나, 본 연구의 평균 렌즈 시작 연령  $10.7 \pm 0.7$ 로 차이가 있다는 점과 나이가 유의한 안축장 변화의 위험요인이라는 본 연구 및 이전 연구 결과 때문으로 설명해볼 수 있다.

근시의 진행 기전에는 다양한 가설이 있다. 가장 널리 알려진 가설은 주변부 망막의 굴절 변화에 의한 근시의 진행이다. Smith et al<sup>7</sup>은 원숭이에서 주변부 망막의 굴절 변화가 근시를 진행시켰다고 보고하였고, Kang and Swarbrick<sup>8</sup>은 각막굴절교정렌즈 환아에서 중심부 망막에서는 원시가, 주변부 망막에서는 근시가 포함된 굴절 변화가 발생되었다고 보고한 바 있다. 또한 Berntsen et al<sup>9</sup>은 조절 지연(accommodation lag)에 의한 주변부 망막의 자극이 근시 진행과 관계된다고 하였다.

각막굴절교정렌즈 착용 환아에서 근시 진행과 연관된 파라미터를 확인하는 것은, 근시 진행 기전과 관련된 인자에 대한 고찰이며 향후 근시 진행 억제 예후 예측에 도움이 될 수 있다는 점에서 의의가 있다. 이에 본 연구에서는 각막굴절교정렌즈 착용기간의 환산 안축장 변화량과 여러 인자들 사이의 상관관계를 분석하였다. 먼저 렌즈 착용 전 인자로 렌즈 착용시작 연령, 렌즈 착용 전 구면렌즈대응치, 렌즈 착용 전 안축장, 중심각막두께, 각막윤부 직경, 동공직경을 포함시켜 안축장 변화량과 상관 분석하였다. 상관 분석 결과, 렌즈 착용시작 연령이 환산 안축장 변화량과 유의한 음의 상관관계를 갖는 변수로 분석되었고, 해당 음의 상관관계는 해외의 Cho and Cheung<sup>13</sup>과 국내의 Kim et al<sup>11</sup>에 의해서도 보고된 바 있다.

추가로 안축장 변화량과 렌즈 착용 후 각막 전면 고위수차값들과의 상관관계 분석을 하기 전, 각막굴절교정렌즈 착용 전과 후 각막 전면 고위수차의 변화를 분석하였다. 각막 고위수차 중에서도 코마수차와 구면수차가 착용 전과 비교하여 유의하게 증가됨이 Hiraoka et al<sup>14</sup>과 Sun et al<sup>15</sup>

에 의해 보고된 바 있다. 본 연구에서도 6 mm 각막에 대하여 측정된 각막 전면 구면수차( $C_4^0$ )와 수직 코마수차( $C_3^{-1}$ ), 수평 코마수차( $C_3^1$ ), 전체 코마수차값이 렌즈 착용 전 각각  $0.44 \pm 0.07$   $\mu$ m,  $0.15 \pm 0.07$   $\mu$ m,  $0.12 \pm 0.07$   $\mu$ m,  $0.21 \pm 0.07$   $\mu$ m에서 렌즈 착용 후  $0.86 \pm 0.33$   $\mu$ m,  $0.49 \pm 0.49$   $\mu$ m,  $0.46 \pm 0.43$   $\mu$ m,  $0.74 \pm 0.57$   $\mu$ m로 렌즈 착용 후 유의하게 증가됨이 확인되었다(paired *t*-test,  $p<0.05$ ).

각막 고위수차는 각막 비대칭성과 관련되어 망막 상의 비대칭, 조절의 비대칭 등과 관련되어 근시 진행과 관련될 수 있다. 국내에서도 각막굴절교정렌즈 착용 후 각막 중심부와 주변부 사이의 각막굴절력 차이가 안축장 변화와 유의한 상관관계가 있으며, 이는 주변부 망막의 굴절력 변화가 각막굴절교정렌즈 착용 후 근시 진행 억제 기전과 관련되어 있을 가능성을 시사한다고 발표된 바 있다.<sup>16</sup>

본 연구의 안축장 변화량과 렌즈 착용 후 각막 전면 고위수차값들과의 상관관계 분석에서는 최종 경과 관찰 시점의 6 mm 직경 각막 전면 구면수차값과 코마수차값(Pearson's correlation, 구면수차:  $r=0.543$ ,  $p=0.001$ ; 코마수차:  $r=0.420$ ,  $p=0.017$ ), 6 mm 직경 각막 전면에 대한 구면수차값과 코마수차값의 렌즈 착용 전과 후 총 변화량(Pearson's correlation, 구면수차 변화량:  $r=0.518$ ,  $p=0.002$ ; 코마수차 변화량:  $r=0.396$ ,  $p=0.025$ )이 24개월 환산 안축장 변화량과 유의한 양의 상관관계를 갖는 파라미터로 분석되었다.

렌즈 착용 후 고위수차의 변화와 안축장 변화를 상관관계 분석한 기존의 연구들을 살펴보면, Hiraoka et al<sup>14</sup>이 4 mm 동공에 대하여 측정된 안구 전체의 구면유사수차(Spherical like aberrations,  $C_4^{-4}$ ,  $C_4^{-2}$ ,  $C_4^0$ ,  $C_4^2$ ,  $C_4^4$ ) 변화량 및 코마유사수차(Coma like aberrations,  $C_3^{-3}$ ,  $C_3^{-1}$ ,  $C_3^1$ ,  $C_3^3$ ) 변화량이 안축장 증가와 유의한 음의 상관관계를 갖는다고 보고하였고, 국내 연구로는 Lee and Lee<sup>17</sup>가 6 mm 동공에 대해서 측정된 전체 구면수차와 각막 구면수차가 안축장 증가와 유의한 음의 상관관계를 갖음을 보고한 바 있으며, Kim et al<sup>18</sup> 또한 1년 경과 관찰 기간의 안축장 증가가 안구 전체 최종 코마수차( $C_3^{-1+}$   $C_3^1$ )와 최종 3차 고위수차( $C_3^{-3}+C_3^{-1}+C_3^1+C_3^3$ )가 유의한 음의 상관관계를 갖는다고 보고하였다. 해당 결과는 코마수차, 구면수차 변화량이 안축장 증가와 유의한 상관관계를 갖는 변수라는 점에서는 본 연구와 일치하지만, 상관관계 방향성은 본 연구와 차이가 있었다.

위의 차이에 대하여 몇 가지 가능한 요인을 고려해 볼 수 있다. 첫째로 전체 안구고위수차와 각막 고위수차 사이의 차이에 의한 것이다. Chen et al<sup>19</sup>은 안구 전체 고위수차와 각막 고위수차는 렌즈 착용 후 비슷한 추이의 변화를 갖는다고 보고하였다. 하지만 전체 고위수차는 각막 고위수차

와 내부 고위수차의 합으로, 내부 구면수차 변화에 따라 전체 고위수차와 각막 고위수차값은 차이가 있을 수 있다. 본 연구에는 안구 전체의 고위수차가 아니라 각막 특히 각막 전면만의 고위수차를 분석에 활용하였다. 두 번째로 본 연구에서 나타난 안축장 변화와 6 mm 각막에 대한 렌즈 착용 후 각막 전면 고위수차값 또는 그 변화량 사이의 상관관계가 직접적인 관계가 아니고 교란 변수에 의하여 나타났을 가능성이 있다. Lee and Lee<sup>17)</sup>은 각막굴절교정렌즈 착용 후 구면수차의 변화는 교정된 근시량과 관련된다고 하였다. 본 연구에서도 렌즈 착용 전후의 구면렌즈 대응치 변화량(근시 교정량)과 최종 경과 관찰 시점의 6 mm 각막에 대한 고위수차가 유의한 양의 상관관계를 보였다(Pearson's correlation, 구면수차:  $r=0.363$ ,  $p=0.041$ ; 코마수차:  $r=0.365$ ,  $p=0.040$ , Table 7). 근시의 정도도 근시 진행과 관련 있다고 보고된 바 있는 파라미터라는 점을 고려하면,<sup>20)</sup> 구면렌즈 대응치 교정량(근시의 정도)이 각막 전면 고위수차와 안축장 변화 모두에 영향을 미쳐서 기존 문헌들의 보고와는 상반된 상관관계를 이끌어내는 교란변수로서 작용했을 가능성을 고려할 수 있겠다.

다양한 변수들의 영향을 확인하기 위하여 렌즈 착용 전 파라미터들과 렌즈 착용 후 각막 고위수차값들을 독립변수로 하여 24개월 환산 안축장 변화량과 다중회귀분석을 시행했을 때 렌즈 착용 전 시작연령, 렌즈 착용 후 각막 구면수차값, 렌즈 착용 전 안축장이 유의한 관련인자로 분석되었다. 또한, 렌즈 착용 후 각막 고위수차값을 렌즈 착용 전 후 각막 고위수차의 변화값으로 변경하여 다중회귀분석을 시행했을 때에도 렌즈 착용 전 시작연령, 렌즈 착용 전후 각막 구면수차 변화값, 렌즈 착용 전 안축장이 유의한 관련인자로 분석되었다. 상관분석 결과와 비교하였을 때 다중회귀분석에서는 렌즈 착용 전 안축장은 유의한 관련인자로, 코마수차와 관련된 인자들은 유의한 관련 인자에서 빠지는 분석 결과를 보여줬다. 두 분석 결과를 종합적으로 살펴볼 때 렌즈 시작연령과 렌즈 착용 후 구면수차 또는 렌즈 착용 전후 구면수차 변화값이 두 가지 분석 방법 모두에서 근시진행을 예측하는 데 도움이 될 수 있는 인자로 분석되었다.

이 연구의 한계점으로는 연구 디자인이 후향적 연구라는 점을 들 수 있다. 후향적 연구의 한계로 경과 관찰 중 안축장을 측정할 시기가 일정하지 않아서 경과 관찰 종료 시점이 렌즈 착용 완료 후 22-37개월로 비교적 다양하다는 문제가 있었다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 대조군은 환자마다 비슷한 연령과 추적 관찰 기간을 갖는 대조군을 1:1로 짝지어서 선정하였고, 24개월 경과 관찰을 기준으로 한 24개월 환산 안축장 변화량으로 분석을 진행하였다. 그 의

에도 상대적으로 대상군이 많지 않고 사용된 렌즈의 종류가 다양하며, 고위수차 분석이 각막 전면에만 국한되었다는 제한점이 있다. 추후 더 많은 대상군과 단일 렌즈를 대상으로 각막 및 전체 고위수차를 비교한 연구가 필요할 것이다. 각막굴절교정렌즈 착용 후 각막두께의 변화로 인하여 안축장이 짧게 측정될 수 있는 점을 감안하여 초기 안축장을 렌즈 착용 직후에 측정해야 조금 더 정확한 비교가 가능하데, 본 연구에서는 초기 안축장을 렌즈 착용 전에 측정한 부분도 본 연구의 단점일 수 있다. 하지만 일반적으로 알려진 각막굴절교정렌즈 착용에 의한 각막중심두께의 변화는 10  $\mu\text{m}$  (0.01 mm) 내외로 알려져 있는 점을 고려할 때,<sup>21)</sup> 본 연구 24개월 환산 평균 안축장 변화량 결과가 렌즈군에서 평균 0.50 mm, 대조군에서 평균 1.00 mm였던 점을 고려할 때 분석 결과에 영향을 미칠 정도의 오차는 아닐 것으로 생각된다.

기존 국내 학술지에는 각막굴절교정렌즈 착용 후 12개월까지의 경과 관찰 보고가 최장이다.<sup>11)</sup> 본 연구는 이상의 단점에도 불구하고 한국인에서 각막굴절교정렌즈를 착용하고 2-3년 경과 관찰된 환아를 대상으로 각막굴절교정렌즈의 근시 진행 억제 효과를 보고하고, 렌즈 착용 환아에서 근시 진행 정도를 예상할 수 있는 지표를 제시한 데에 의의가 있겠다.

## 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) Jung SI, Han JS, Kwon JW, et al. Analysis of myopic progression in childhood using the Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *J Korean Ophthalmol Soc* 2016;57:1430-4.
- 3) Saw SM, Gazzard G, Shin-Yen EC, Chua WH. Myopia and associated pathological complications. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005; 25:381-91.
- 4) Walline JJ, Lindsley K, Vedula SS, et al. Interventions to slow progression of myopia in children. *Cochrane Database Syst Rev* 2011;(12):CD004916.
- 5) Nichols JJ, Marsich MM, Nguyen M, et al. Overnight orthokeratology. *Optom Vis Sci* 2000;77:252-9.
- 6) Swarbrick HA, Wong G, O'Leary DJ. Corneal response to orthokeratology. *Optom Vis Sci* 1998;75:791-9.
- 7) Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J, Arumugam B. Effects of local myopic defocus on refractive development in monkeys. *Optom Vis Sci* 2013;90:1176-86.
- 8) Kang P, Swarbrick H. The influence of different OK lens designs on peripheral refraction. *Optom Vis Sci* 2016;93:1112-9.
- 9) Berntsen DA, Sinnott LT, Mutti DO, et al. Accommodative lag and Juvenile-onset myopia progression in children wearing refractive correction. *Vision Res* 2011;51:1039-46.
- 10) Hiraoka T, Kakita T, Okamoto F, et al. Long-term effect of over-

night orthokeratology on axial length elongation in childhood myopia: a 5-year follow-up study. Invest Ophthalmol Vis Sci 2012;53:3913-9.

11) Kim TH, Kim MH, Kwag J, et al. Comparative effect of spectacles and orthokeratology lenses on axial elongation in children with mild-to-moderate myopia. J Korean Ophthalmol Soc 2018;59:1009-16.

12) Kakita T, Hiraoka T, Oshika T. Influence of overnight orthokeratology on axial elongation in childhood myopia. Invest Ophthalmol Vis Sci 2011;52:2170-4.

13) Cho P, Cheung SW. Retardation of myopia in orthokeratology (ROMIO) study: a 2-year randomized clinical trial. Invest Ophthalmol Vis Sci 2012;53:7077-85.

14) Hiraoka T, Kakita T, Okamoto F, Oshika T. Influence of ocular wavefront aberrations on axial length elongation in myopic children treated with overnight orthokeratology. Ophthalmology 2015;122:93-100.

15) Sun Y, Wang L, Gao J, et al. Influence of overnight orthokeratology on corneal surface shape and optical quality. J Ophthalmol 2017;2017:3279821.

16) Lee EJ, Lim DH, Chung TY, et al. Association of axial length growth and topographic change in orthokeratology. Eye Contact Lens 2018;44:122:292-8.

17) Lee DH, Lee JE. Correlation among myopic correction, axial length and aberration after orthokeratology lens treatment in myopic patients. J Korean Ophthalmol Soc 2016;57:1050-5.

18) Kim J, Lim DH, Han SH, Chung TY. Predictive factors associated with axial length growth and myopia progression in orthokeratology. PLoS One 2019;14:e0218140.

19) Chen Q, Li M, Yuan Y, et al. Interaction between corneal and internal ocular aberrations induced by orthokeratology and its influential factors. Biomed Res Int 2017;2017:3703854.

20) Hu Y, Ding X, Long W, et al. Longitudinal changes in spherical equivalent refractive error among children with preschool myopia. Invest Ophthalmol Vis Sci 2019;60:154-60.

21) Alharbi A, Swarbrick HA. The effects of overnight orthokeratology lens wear on corneal thickness. Invest Ophthalmol Vis Sci 2003;44:2518-23.

= 국문초록 =

## 각막굴절교정렌즈의 장기 착용이 소아 근시에서 안축장의 성장에 미치는 영향: 2-3년 관찰 연구

**목적:** 각막굴절교정렌즈를 2-3년 착용한 소아에서 각막굴절교정렌즈 착용이 소아 근시에서 안축장의 성장에 미치는 영향 및 관련 인자를 알아보려고 하였다.

**대상과 방법:** 본원에서 각막굴절교정렌즈를 처방 후 22개월 이상 렌즈를 착용하고, 경과 관찰된 20명 34안을 대상으로 착용 시작과 경과 관찰 시점의 원거리시력, 굴절오차, 각막 전면 고위수차 및 안축장 자료를 후향적으로 분석하였다. 성별, 나이, 굴절이상, 추적 관찰 기간을 맞춘 안경 착용 대조군을 선정하여 비교하였으며, 관찰 기간의 다양성을 보정하기 위하여 24개월 환산 안축장 변화를 계산하여 활용하였다.

**결과:** 24개월 환산 평균 안축장 변화는 렌즈군에서  $0.50 \pm 0.23$  mm, 대조군에서  $1.00 \pm 0.28$  mm로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.001$ ), 24개월 환산 안축장 변화는 렌즈 착용시작 연령( $r = -0.572$ ,  $p = 0.001$ ), 최종 경과 관찰 시점에 6 mm 각막 전면에 대하여 측정된 구면수차와 코마수차(구면수차:  $r = 0.543$ ,  $p = 0.001$ ; 코마수차:  $r = 0.420$ ,  $p = 0.017$ ) 및 경과 관찰 동안의 구면수차, 코마수차 변화량과 유의하게 상관관계가 있었다(구면수차 변화량:  $r = 0.518$ ,  $p = 0.002$ ; 코마수차 변화량:  $r = 0.396$ ,  $p = 0.025$ ). 다중회귀분석에서는 렌즈 착용시작 연령과 안축장, 구면수차, 구면수차 변화량이 유의한 관련인자로 분석되었다.

**결론:** 각막굴절교정렌즈 착용은 2-3년 경과 관찰 시에도 유의하게 안축장 성장을 억제하며, 환자의 나이가 어릴수록, 경과 관찰 시점의 각막 전면의 구면수차가 클수록 안축장 성장의 위험이 컸다.

<대한안과학회지 2020;61(8):897-904>

**전성연 / Sung Yeon Jun**  
한길안과병원  
Hangil Eye Hospital

