



The Analysis of the Changing Patterns of High Order Aberrations by Age Groups

Hee Sung Kim^{1,2}, Jin Hyoung Kim², Do Hyung Lee², So Ra Kim¹, and Mijung Park^{1,*}

¹Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea

²Dept. of Ophthalmology, Inje University Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Goyang 10380, Korea

(Received August 9, 2017; Revised September 1, 2017; Accepted September 4, 2017)

Purpose: This research was aimed to investigate the correlation between ages and high order aberrations at the ages which change the pattern of ocular growth and refractive abnormalities. **Methods:** The ocular aberrations of 161 normal Korean eyes in their 10s to 60s with the best corrected visual acuity of 20/20 or better was measured by using the retinoscopic aberrometer (OPD Scan II[®]). Total internal high order aberrations (HOAs) including entire eye, the cornea, and the lens, spherical aberration, and coma aberration were measured and analyzed according to the age. **Results:** In the ages between 10s and 20s in which eyeballs grow, total HOAs and coma aberration decreased among the aberrations however, spherical aberration did not change with age. At the ages, all aberrations of the cornea and interior were not correlated with aging. In the ages between 20s and 60s in which eyeballs growing stops, total ocular HOAs decreased and coma and spherical aberrations increased with aging however, the corneal aberrations did not change. At the ages, total internal HOAs and spherical aberration decreased however, coma aberration was not changed. Total ocular HOAs and spherical aberration in the age between 40s to 60s in which the presbyopia begins were not changed however, coma aberration significantly increased with age. At the ages, all corneal and internal aberrations were not correlated with age. **Conclusions:** In this study, it was revealed that the correlation between high order aberrations and age depending on each anatomical part of the eyes in the age groups in which the ocular growth and refractive abnormalities change. This difference of high order aberrations seems to be one of the major causes of age-related changes in visual acuity and visual quality.

Key words: Age, Total high order aberrations, Ocular aberration, Corneal aberration, Internal aberration

서 론

눈의 수차는 저위수차와 고위수차로 나눌 수 있고 이러한 수차는 이미지의 빛 번짐, 흐려 보임 현상으로 눈의 보는 능력에 대한 질 저하를 야기한다.^[1] 임상적 의미로 저위수차는 근시, 원시 그리고 난시로 교정이 가능한 상태이며, 고위수차는 눈의 굴절 이상이 아닌 시력의 질을 판단할 수 있는 기준이라 할 수 있다. 최근 들어 파면 센서(wavefront sensors)의 개발로 안구 수차의 개념이 발전하면서 이러한 수차의 임상적인 의미와 활용에 대해 많은 관심이 기울여지고 있다.^[2,3] 파면수차 측정을 이용한 기술 개발로 인간의 눈의 단색수차(monochromatic aberrations)의 측정이 가능해지면서 조금 더 정확하고 구체적인 이미지의 정량화를 위해 대규모 연구들이 진행되고 안구수차

에 대한 많은 연구들이 진행되었다.^[4,5]

고위수차는 연령의 증가, 라식 등의 굴절 교정 수술 후, 백내장의 발생과 연관되어 증가한다고 보고되었다.^[6-8] 광학적 측면에서 광선은 완전한 구형인 표면에서 굴절되면서 직선 경로(direct and straight path)를 따르는 것으로 알려져 있다.^[9,10] 어떤 매질을 지날 때 스넬의 굴절 법칙(Snell's law)에 따라 서로 다른 굴절률의 매질로 진행하면 빛이 꺾여 상이 뒤틀리게 된다. 이때 파동에 의해 위상의 차이가 생겨 수차가 발생한다. 사람의 눈은 완전한 구형이 아니기 때문에 직선 경로를 이루지 못하고 변화하게 되어 수차가 발생하게 되는 것이다.^[11,12] Hashemian 등^[13]은 굴절수술을 목적으로 고위수차를 측정한 이란인 중 근시안 2,458안과 원시 215안의 고위수차를 비교하였는데 근시안에 비해 원시안의 구면수차가 크다고 발표하였고 Salmon

*Corresponding author: Mijung Park, TEL: +82-2-970-6228, E-mail: mjpark@seoultech.ac.kr

본 논문의 일부내용은 2010년도 한국안광학회 하계학술대회에서 포스터로 발표되었음.

Table 1. The classification of subjects participated in this study

Range of age (years)	Average of age (years)	No. of eyes	Spherical equivalent refraction (D)		Cylinder power (D)	
			Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
10~20	16.35±2.83	17	-0.45±1.03	-2.59 to 3.48	-0.74±0.41	-1.85 to -0.15
21~30	24.38±2.71	38	-2.04±2.58	-6.73 to 3.08	-0.81±0.66	-2.46 to -0.11
31~40	35.50±3.03	16	-0.23±0.41	-1.32 to 2.24	-0.57±0.51	-1.64 to -0.02
41~50	44.75±2.68	42	-0.32±0.81	-3.18 to 1.11	-0.57±0.36	-1.33 to -0.08
51~60	54.77±2.45	31	0.03±0.38	-2.42 to 1.48	-0.65±0.39	-2.06 to -0.16
61~70	64.38±3.38	17	0.76±1.54	-4.31 to 2.62	-0.96±0.67	-2.68 to -0.16
Total	39.99±15.42	161	-0.38±0.92	-0.34 to 1.89	-0.72±0.15	-2.06 to -0.16

등^[14]은 정상안을 대상으로 Hartmann-Shack 방식의 수차계를 이용하여 육균과 해균을 포함한 서로 다른 지역의 10곳의 실험실에서 수집된 2,560안을 대상으로 조사를 하였는데 고위수차 중 제르니케 다항식(Zernike polynomials)에 의한 수직코마수차(Z_1^3)와 구면수차(Z_0^4)가 가장 큰 부분을 차지하며 동공크기가 6 mm일 때의 총 고위수차의 평균값은 0.33 μm 이고 수직코마수차(Z_1^3)는 0.14 μm , 구면수차(Z_0^4)는 0.13 μm 그리고 수직세조각수차(Z_3^3)는 0.11 μm 라고 보고하였다. Athaide 등^[15]은 5세에서 64세 사이의 300안을 대상으로 연령에 따른 안구전체와 각막을 각각 측정하여 가감법으로 계산하여 수정체의 고위수차량을 구하는 방식으로 총 수차량과 고위수차를 분석하여 보고하였다. 국내 연구에서 Kim 등^[16]은 20세에서 38세 사이의 굴절수술 대상인 근시안 232안의 동공크기가 6 mm 일 때의 성별과 연령은 고위수차와 상관 관계가 없고 근시의 정도와 세조각수차와는 상관관계가 높다고 보고하였다. Chun 등^[17]은 10대에서 50대까지의 63안을 대상으로 Hartmann-Shack 방식의 수차계를 이용하여 안구전체의 고위수차를 분석하였는데 연령이 증가함에 따라 총 고위수차는 증가한다고 보고하였다.

이처럼 수차와 관련된 다양한 연구들이 보고되고 있으나 한국인 정상안에서의 연령에 따른 고위수차의 변화를 눈의 구조적 위치에 따라 분류하여 분석한 연구가 없다. 따라서 본 연구에서는 안구전체와 각막 그리고 수정체를 포함한 내부의 고위수차 측정이 가능한 retinoscopic 방식의 수차계를 이용하여 수차를 측정하여 정상안에서의 고위수차의 연령에 따른 변화에 대하여 연령대별 분석을 실시하여 임상 분석의 기초자료를 제공하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

근시, 원시, 난시를 제외한 안과적 병력을 가지고 있지 않고 retinoscope (Heine 3.5v Beta 200[®]TL, Germany)를

이용한 현성굴절검사에서 최대 교정 굴절시력이 20/20 이상인 한국인 정상안 161안(남자 87안, 여자 74안)을 대상으로 하였다. 10세부터 70세까지를 검사하였으며, 평균 등가구면 굴절력은 -0.38 ± 0.92 D($-3.43 \sim 1.89$ D)였고, 평균 난시량은 -0.72 ± 0.15 D($-2.00 \sim -0.11$ D)이었다(Table 1).

2. 방법

수차를 측정하기 전에 tropicamide 0.5%와 phenylephrine hydrochloride 0.5%로 구성된 혼합 약제를 이용하여 6 mm 이상의 산동이 이루어지게 하였다. Retinoscopic aberrometer (OPD Scan II[®], NIDEK Co Ltd, Gamagori, Japan)를 이용하여 동공 직경 6 mm에서 측정된 값을 3번 반복 측정하여 평균값을 구하고 안구전체, 각막, 수정체를 포함한 내부의 수차값을 RMS (Root Mean Square)로 계산 하였다. 안구전체, 각막, 내부의 총 고위수차와 Zernike Polynomials의 4차항까지의 고위수차 중에 구면수차와 코마수차의 변화량을 분석하였다.

3. 분석 방법

SPSS version 18.0(SPSS Inc, Chicago, USA)을 이용하여 연령과 고위수차의 상관관계를 Spearman's rank correlation coefficient(r)로 확인하고 p값이 0.05 이하인 경우를 통계적으로 유의한 차이로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 안구전체 고위수차의 변화

10대에서 60대까지의 안구전체 총 고위수차는 연령과의 상관성이 나타나지 않았다($R = 0.090$, $p = 0.261$), (Fig. 1A). 안구의 성장이 빠르게 이루어지는 10대에서 20대만을 대상으로 연령과 총 고위수차 변화의 상관성이 있었으며($R = -0.573$) 통계적으로 유의하게 감소하였다($p = 0.000$), (Fig. 1B). 안구 성장의 완성단계라고 볼 수 있는 19세 이

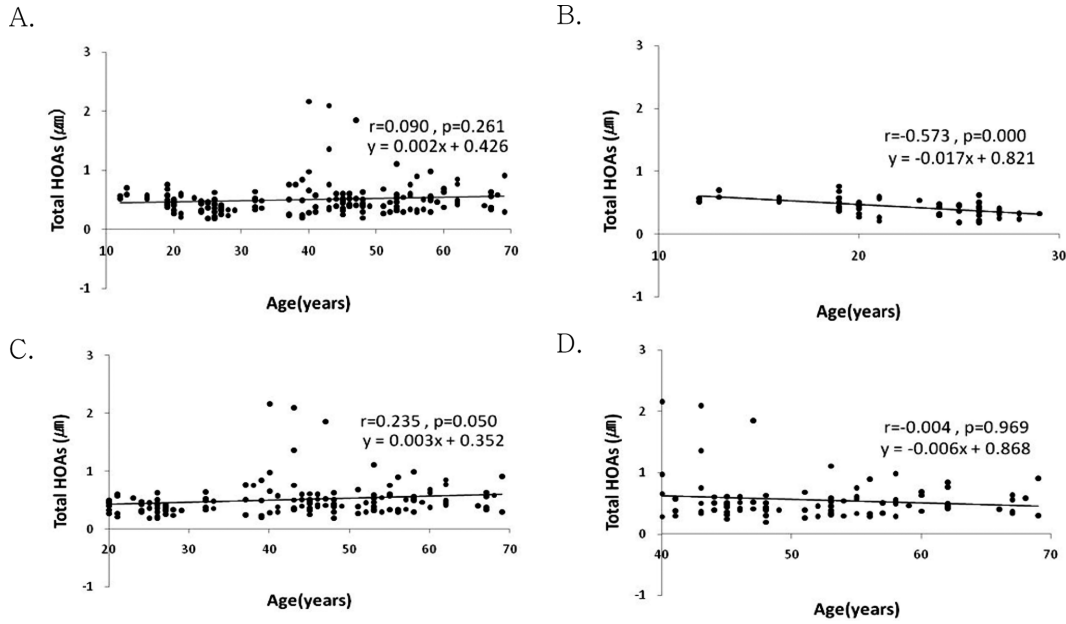


Fig. 1. Relationship between the total ocular HOAs and ages.

- A. 10s to 60s
- B. 10s to 20s
- C. 20s to 60s
- D. 40s to 60s

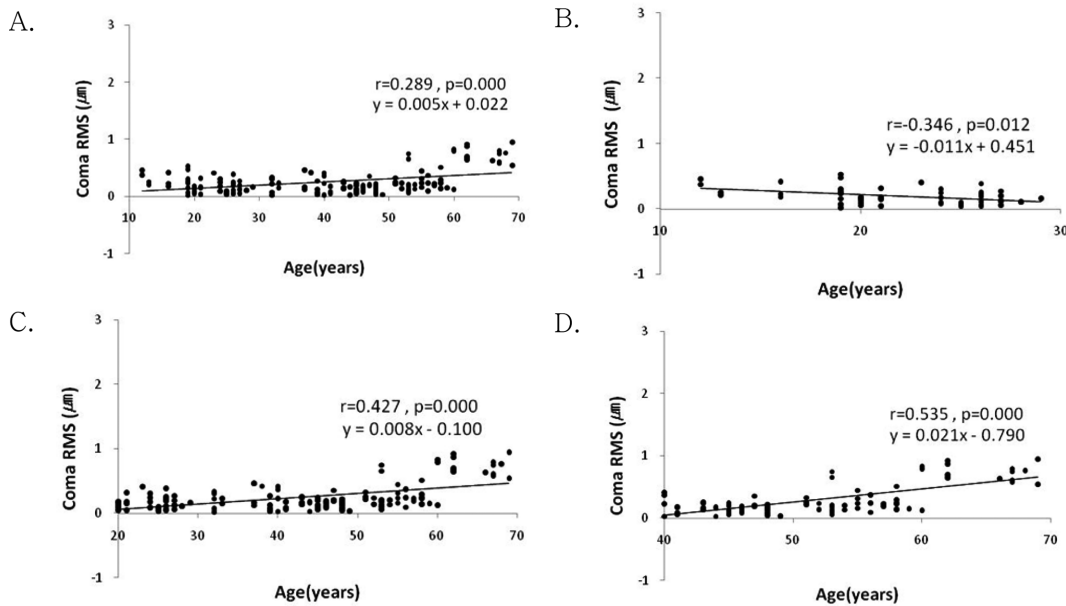


Fig. 2. Relationship between the ocular coma RMS and ages.

- A. 10s to 60s
- B. 10s to 20s
- C. 20s to 60s
- D. 40s to 60s

후를 기준으로 한 20대부터 60대까지의 총 고위수치는 연령이 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 증가하였다 ($R = 0.235, p = 0.005$), (Fig. 1C). 반면에 노안이 시작하는 40대 이후를 분석하였을 때는 연령과 총 고위수치 변화는

상관관계가 없었다($R = -0.004, p = 0.969$), (Fig. 1D).

10대에서 60대까지의 안구전체 코마수치 변화는 연령이 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 증가하였다($R = 0.289, p = 0.000$), (Fig. 2A). 10대에서 20대의 안구전체 코마수치

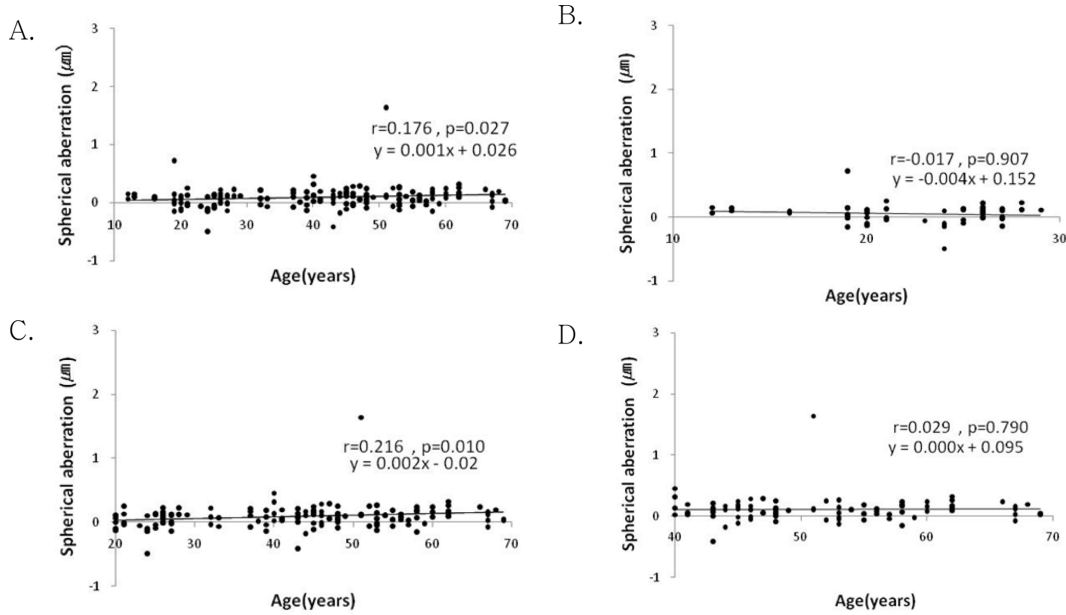


Fig. 3. Relationship between the ocular spherical aberrations and ages.
 A. 10s to 60s
 B. 10s to 20s
 C. 20s to 60s
 D. 40s to 60s

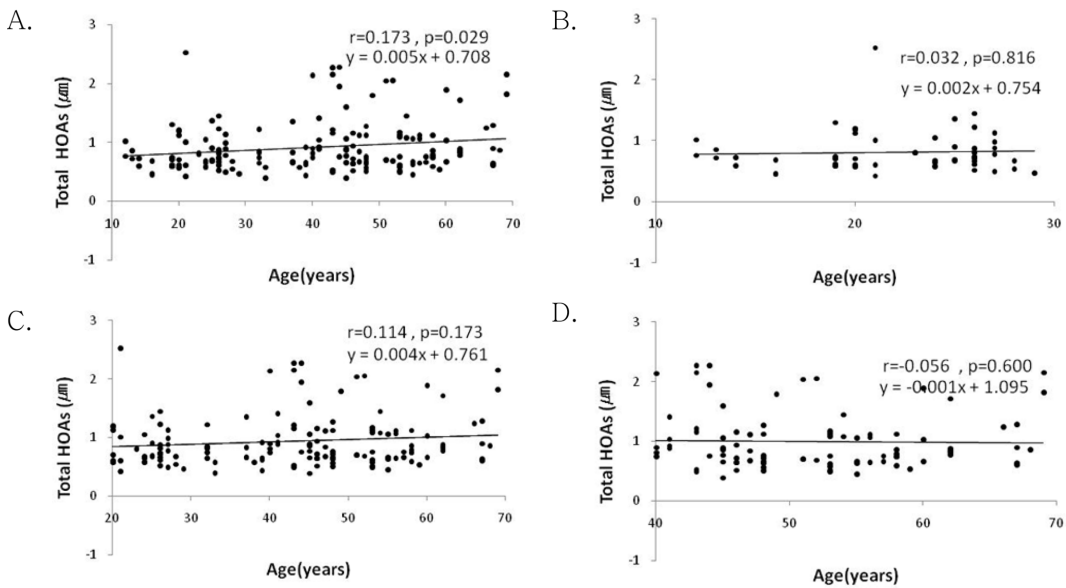


Fig. 4. Relationship between the corneal total HOAs and ages.
 A. 10s to 60s
 B. 10s to 20s
 C. 20s to 60s
 D. 40s to 60s

는 통계적으로 유의하게 감소하였고($R = -0.346, p = 0.012$), 20대에서 60대까지는 통계적으로 유의하게 증가하였으며 ($R = 0.427, p = 0.000$) 연령과 안구전체 코마수차 변화간에 상관관계가 있었다(Fig. 2B and 2C). 40대 이후의 안구전체 코마수차의 변화와 연령 변화 간에 상관관계가 있었으며 통계

적으로 유의하게 증가하였다($R = 0.535, p = 0.000$), (Fig. 2D). 10대에서 60대까지의 안구전체 구면수차는 연령이 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 증가하였다($R = 0.176, p = 0.027$), (Fig. 3A). 10대에서 20대의 안구전체 구면수차는 변화가 없었으나($R = -0.017, p = 0.907$), 20대에서 60대까지

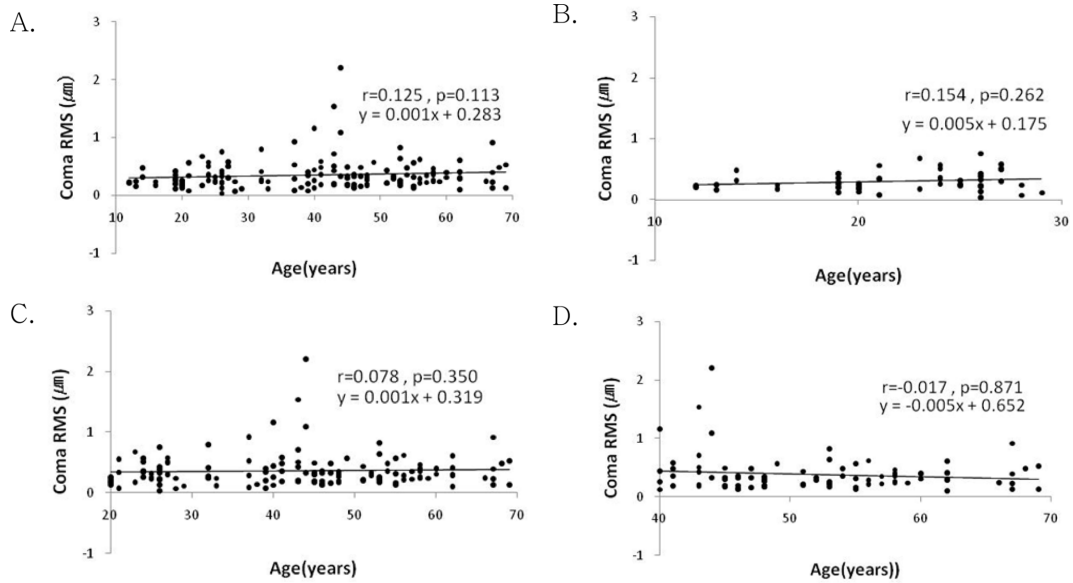


Fig. 5. Relationship between the corneal coma RMS and ages.

- A. 10s to 60s
- B. 10s to 20s
- C. 20s to 60s
- D. 40s to 60s

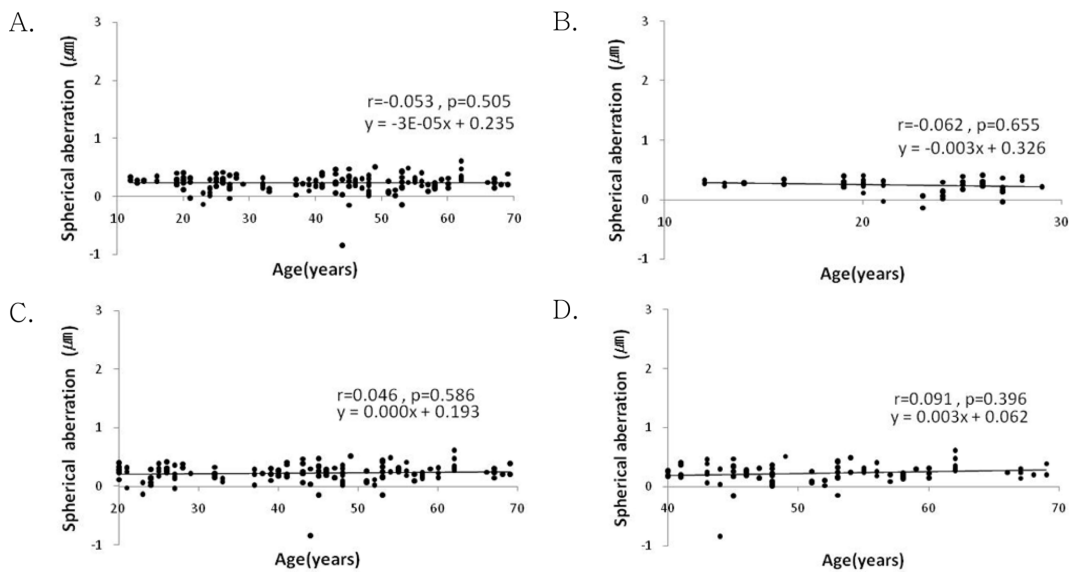


Fig. 6. Relationship between the corneal spherical aberration and ages.

- A. 10s to 60s
- B. 10s to 20s
- C. 20s to 60s
- D. 40s to 60s

는 통계적으로 유의하게 증가하였다($R = 0.216, p = 0.010$), (Fig. 3B and 3C). 40대 이후의 안구전체 구면수차는 연령에 따른 변화가 없었다($R = 0.029, p = 0.709$), (Fig. 3D).

2. 각막에서의 고위수차의 변화

각막에서의 총 고위수차는 10대에서 60대로 갈수록 통

계적으로 유의하게 증가하였다($R = 0.173, p = 0.029$), (Fig. 4A). 10대에서 20대($R = 0.032, p = 0.816$), 20대에서 60대($R = 0.114, p = 0.173$), 40대에서 60대까지($R = -0.056, p = 0.600$)의 각막에서의 총 고위수차는 연령 증가와 상관관계가 없었다(Fig. 4B, 4C and 4D).

각막 코마수차는 10대에서 60대로 연령이 증가함에 따

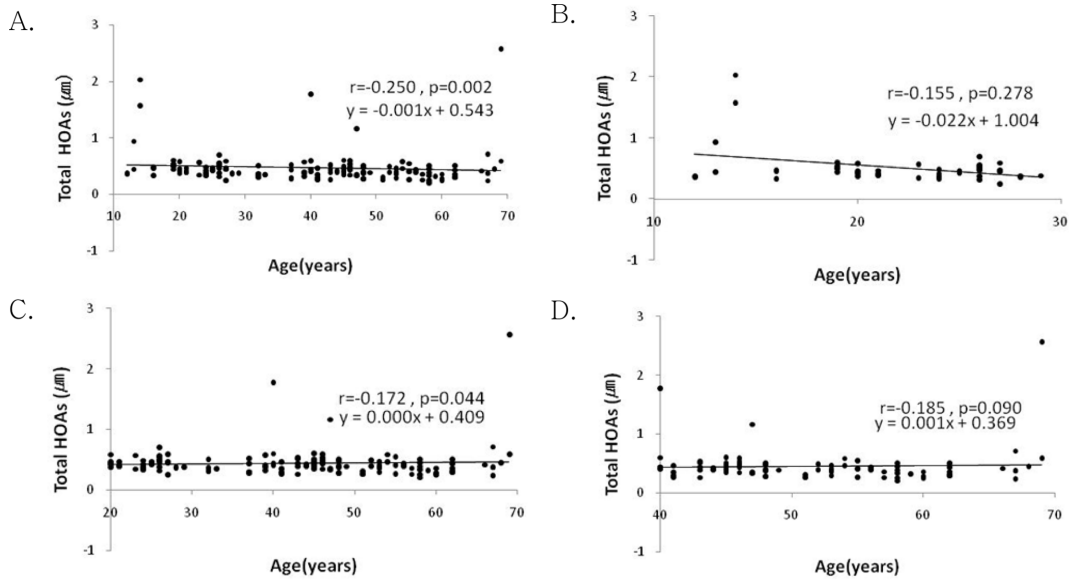


Fig. 7. Relationship between the internal total HOAs and ages.

- A. 10s to 60s
- B. 10s to 20s
- C. 20s to 60s
- D. 40s to 60s

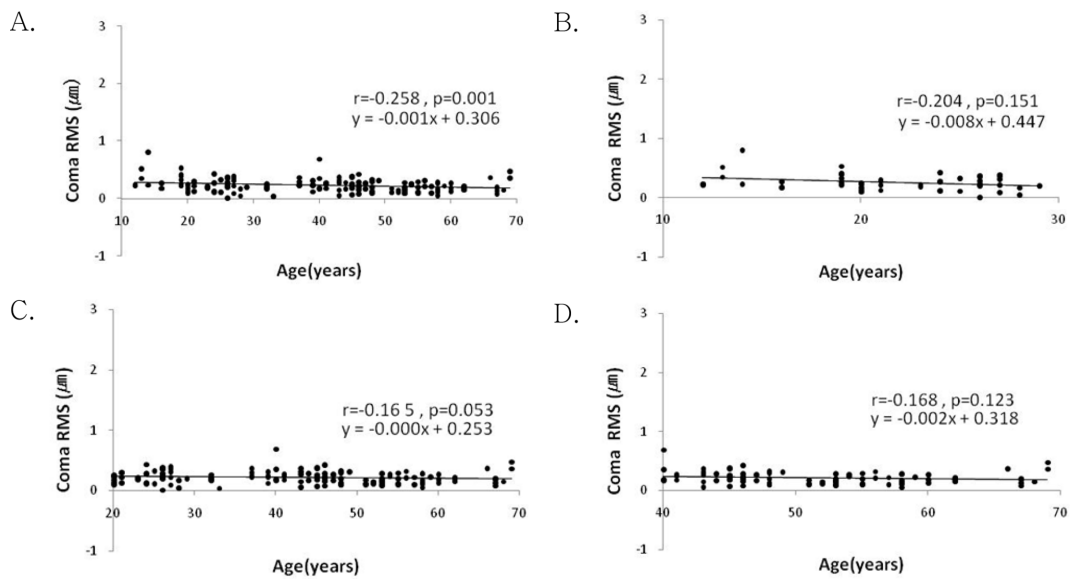


Fig. 8. Relationship between the internal coma RMS and ages.

- A. 10s to 60s
- B. 10s to 20s
- C. 20s to 60s
- D. 40s to 60s

라 통계적으로 의미있는 변화가 나타나지 않았다($R=0.125$, $p=0.113$), (Fig. 5A). 10대에서 20대($R=0.154$, $p=0.262$), 20대에서 60대($R=0.078$, $p=0.350$), 40대에서 60대($R=-0.017$, $p=0.871$)도 연령과 각막코마수차가 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Fig. 5B, 5C and 5D).

각막의 구면수차도 10대에서 60대($R=-0.053$, $p=0.505$),

10대에서 20대($R=-0.062$, $p=0.655$), 20대에서 60대($R=0.046$, $p=0.586$), 40대에서 60대까지($R=0.091$, $p=0.396$) 연령과의 상관성을 보이지 않았다(Fig. 6).

3. 수정체를 포함한 내부의 고위수차의 변화

내부의 총 고위수차는 10대에서 60대로 나이가 증가함

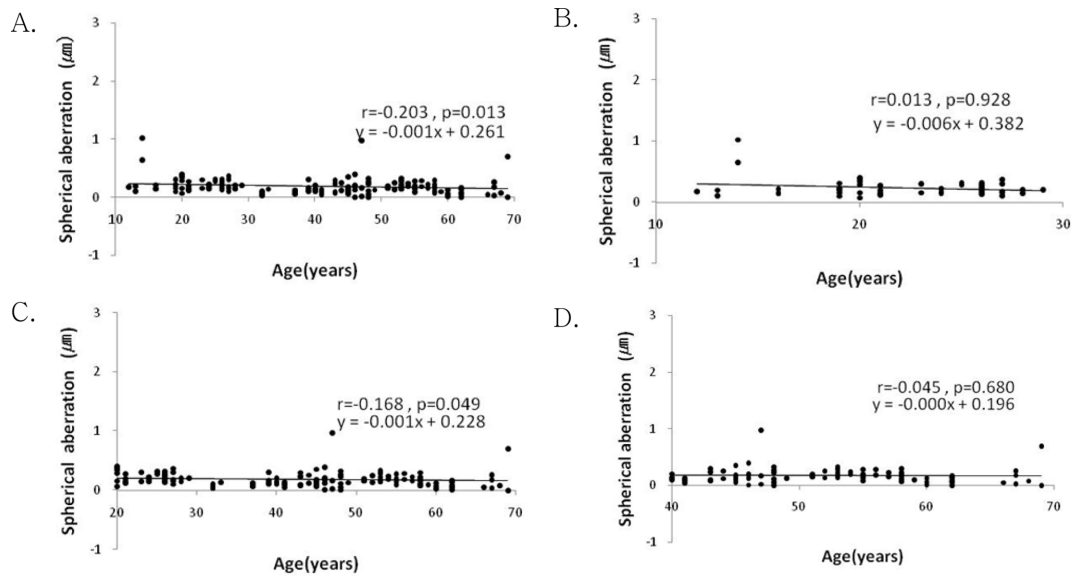


Fig. 9. Relationship between the internal spherical aberration and ages.

- A. 10s to 60s
- B. 10s to 20s
- C. 20s to 60s
- D. 40s to 60s

에 따라 통계적으로 유의하게 감소하였다($R = -0.250$, $p = 0.002$), (Fig. 7A). 10대에서 20대($R = -0.155$, $p = 0.278$), 40대에서 60대($R = -0.185$, $p = 0.090$)에서는 연령 증가에 따른 내부 총 고위수차의 변화가 나타나지 않았으며, 20대에서 60대까지는 통계적으로 유의한 변화가 있었다($R = -0.250$, $p = 0.002$), (Fig. 7B, 7C and 7D).

내부의 코마수차는 10대에서 60대 사이에서는 통계적으로 유의하게 감소하였다($R = -0.258$, $p = 0.001$), (Fig. 8A). 10대에서 20대($R = -0.204$, $p = 0.151$), 20대에서 60대($R = -0.165$, $p = 0.053$), 40대에서 60대($R = -0.168$, $p = 0.123$)에서도 감소하였으나 통계적으로 유의하지 않았다 (Fig. 8B, 8C and 8D).

10대에서 60대의 내부 구면수차는 연령에 증가함에 따라 감소하였다($R = -0.206$, $p = 0.013$), (Fig. 9A). 10대에서 20대($R = 0.013$, $p = 0.928$), 40대에서 60대($R = -0.045$, $p = 0.680$)에서는 연령 증가에 따른 내부 구면수차의 변화가 나타나지 않았으며, 20대에서 60대까지는 통계적으로 유의한 변화가 있었다($R = -0.168$, $p = 0.049$), (Fig. 9B, 9C and 9D).

본 연구에서는 161인의 한국인 정상안을 대상으로 10대에서 60대까지 연령이 증가함에 따른 고위수차의 변화를 눈의 해부학적 위치에 따라 안구전체와 각막 그리고 수정체를 포함한 내부로 나누어 분석하였다. 측정된 고위수차는 총 고위수차와 제르니케 다항식(Zernike Polynomials) 대표적인 3차항의 코마수차와 4차항의 구면수차의 RMS

(root mean square)이었으며, 연령대를 10대에서 60대 전체로 분석하였을 뿐만 아니라 안구 성장 시기가 포함된 10대에서 20대, 안구성장이 완성된 20대부터 60대, 및 노안이 시작되는 40대에서 60대로 나누어 분석하여 안구 성장과 관련된 나이대별로 분석하였다.

본 연구에서는 10대에서 60대까지의 모든 피검자들의 안구전체 총 고위수차는 통계적으로 유의한 변화를 나타내지 않았다. 연령대를 나누어 분석하였을 때 안구성장시기가 포함된 10대에서 20대 사이의 총 고위수차는 통계적으로 유의하게 감소하였으며, 연령과 총 고위수차의 감소가 상관관계가 있었다. 그러나 안구성장이 완성된 20대부터 60대에서는 연령이 증가함에 따라 선행연구와 마찬가지로 총 고위수차가 증가하는 것으로 나타났다.^[18-23] 본 연구에서 10대에서 60대 사이의 안구전체 총 고위수차의 변화없음은 각막의 총 고위수차는 증가한 반면에 수정체를 포함한 내부의 총 고위수차는 감소하여 이들의 상쇄작용이 안구전체의 총 고위수차에 영향을 준 것이라 생각된다. Amano 등^[9]은 18세에서 69세를 대상으로 연령이 증가함에 따라 안구 전체의 고위수차량과 각막의 코마수차량, 안구전체의 구면수차량이 증가한다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 10대 초반을 포함하고 있으며 10대에서 20대의 고위수차 변화 양상이 20대 이상과 차이가 있기 때문으로 보인다. 본 연구에서는 안구 성장이나 시력에 영향이 초래되는 변화가 나타나는 연령대별로 나누어 비교분석하였기에 전체 연령대의 고위수차 변화를 분석한 타 연구에서

제시하는 연령과 고위수차와의 상관성과는 다른 임상적 의미를 제공하였다.

Amano 등^[19]은 연령이 증가함에 따라 안구전체의 구면수차가 증가하는데 이는 수정체의 변화 때문이라고 하였고, 본 연구에서도 동일하게 20대에서 60대의 안구전체 구면수차가 증가하였다. 본 연구에서는 Amano 등^[19]의 연구와는 다르게 내부 구면수차도 측정하였으며, 20대에서 60대의 내부 구면수차는 연령이 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 이와 더불어 본 연구에서는 10대에서 20대의 연령대 및 40대 이상의 연령대에서는 안구전체와 내부 구면수차 모두 큰 변화가 없음을 밝혀 연령대에 따라 고위수차의 변화 양상이 다르다는 결과를 도출하였다. 20대에서 40대의 굴절수술 대상자의 안구전체 고위수차를 측정한 한 Kim 등^[6]의 연구에서 연령이 증가함에 따라 안구전체 코마수차가 감소하였으며, 비록 변화 정도가 크지 않았으나 통계적으로는 유의한 변화를 보여($r = -0.156, p = 0.017$) 본 연구뿐만 아니라 다른 선행 연구 결과와 상이한 결과를 보였다.^[18-23] 본 연구에서는 10대에서 20대는 감소하고 20대에서 60대는 통계적으로 유의하게 증가하였으며($r = 0.427, p = 0.000$) 노안이 시작되는 40대 이상에서는 상관관계가 더 컸다($r = 0.535, p = 0.000$). Kim 등^[6]은 연령이 증가함에 따라 고위수차가 감소한 이유가 연구 대상자가 각막굴절교정수술을 받으려 내원한 환자들이고 연령 분포가 20대 초반이 다수이므로(20대 180명, 30대 52명) 나이의 변화를 충분히 반영하지 못하기 때문이라고 분석하였다. 본 연구는 정상안을 대상으로 하였으며 각 연령대에서 대상안이 고르게 분포하였다. 각막굴절교정수술을 받으려 내원한 환자를 대상으로 한 다른 선행연구에서도 본 연구와 마찬가지로 연령이 증가함에 따라 고위수차가 감소하는 것으로 보아 Kim 등^[6]의 연구는 연령 분포의 불균형이 더 크게 작용하여 나타난 결과라고 보여지며, 연령과 고위수차와의 상관성이 연령대에 따라 달라진다는 것을 반증하는 예라고 생각된다.

연령에 따른 안구의 변화와 관련된 안구전체의 고위수차는 각막의 수차와 안구 내부의 수차로 나누어 볼 수 있다.^[19,24] 연령이 증가함에 따른 고위수차의 증가 원인에 대해 Mathers 등^[25]은 눈물 부피의 감소가 나타나서라고 하였으며, Patel 등^[26]은 눈물막 안정성이 감소되어 각막표면에 불규칙성이 증가하여서라고 보고하였다. 또한 아시아인을 대상으로 연구한 Wei^[27]도 아시아계 민족에서 고위수차가 높게 나오는 이유가 각막 표면의 눈물막 안정성이 아시아계의 눈에서 더 저하되어 있기 때문이라고 보고하였다. 21세에서 71세 한국인을 대상으로 한 Song 등^[28]의 연구에서 각막 전면의 파면고위수차는 연령에 따라 증가하나($r = 0.335, p < 0.001$) 후면은 변화가 없었다고 보고하

였다. 본 연구에서는 10대에서 20대, 20대에서 60대, 40대 이상에서 각막에서의 총 고위수차, 코마수차 및 구면수차 모두 통계적으로 유의한 연령과 수차변화의 상관관계가 나타나지 않았다. 본 연구에서는 각막 전체의 고위수차를 분석하였고, 대상자 분포가 20대 및 40대에서 50대 사이가 상대적으로 많이 분포하나 Song 등^[29]의 연구는 20대에서 30대에 밀집되어 있어 연령대에 따른 차이에 의해서도 다른 결과가 나타났을 것이라고 사료된다.

Amano 등^[19]의 일본인 75안을 대상으로 한 연구에서 연령이 증가함에 따라 각막 및 안구전체 코마수차는 증가하였으나, 각막의 구면수차량은 변화가 없었다고 보고하였다. 본 연구에서는 안구전체 코마수차는 증가하고 각막 구면수차는 변화가 없다는 점에서는 Amano 등^[19]의 연구와 일치하였으나, 각막 코마수차는 변화가 없었다는 점에서는 차이가 있었다. 같은 동양인이라는 점에서 인종의 차이는 없지만 Amano 등^[19]의 연구에서는 광범위한 연령대에 비해 대상안 수가 다소 적었고, 연령대의 분포가 차이가 난다는 점이 결과의 차이를 유발한 것이라 생각된다. 또한 Amano 등^[19]은 연령이 증가함에 따라 안구내부의 구면수차가 증가하고 이것은 안구전체 구면수차의 증가를 야기한다고 보고하였다. Athaide 등^[15]은 평균 나이가 31 ± 16.03 세이고 연령범위가 5세에서 64세인 남미인(브라질인)을 대상으로 안구전체와 각막의 고위수차는 측정하고 수정체의 고위수차는 가감법으로 계산하여 유년과 중년에서 안구전체 총 고위수차와 구면수차가 증가하고 수정체의 구면수차가 증가하지만 수직코마수차와 수평코마수차가 연령이 증가하면서 감소한다고 보고하였다. Athaide 등^[15] 연구는 하나의 기계를 이용하여 계산된 수차의 양을 측정하는 것은 아니지만 5세에서 14세 사이의 유년그룹에서 각막과 수정체의 상보적 관계로 인해 구면수차가 성인그룹보다 수치가 작다고 하였다. 이 결과는 안구가 성장하고 있는 연령대와 성장이 멈춘 연령대의 구면수차 값이 다르다는 것을 제시하였으나 실험 방법론적인 면에서 여러 개의 다른 기계를 이용한 측정이었고, 구면수차의 측정이 조절력에 영향을 받기 때문에 유년그룹의 측정값이 달라질 수 있다는 한계점을 제시한 바 있다.

이렇게 수차는 인종별로도 차이가 있으며 측정 부위 및 측정 기기가 상이하야 국내외에서 많은 연구가 진행되었음에도 상반되는 결과를 나타내는 경우가 있다. 그러나 수차는 라식과 같은 굴절수술이나 백내장 수술에서 활용되는 중요한 값이므로 정확한 분석 결과가 요구된다. 본 연구에서 밝힌 바와 같이 눈의 해부학적 위치에 따라 여러 고위수차의 경향성이 다르기 때문에 다양한 각도에서 임상적 고위수차의 정량화가 필요하다고 생각되며 한국인에게 적합한 정밀한 수차계의 개발과 함께 여러 수차계의 특징적 차이를 이해하고 서로 다른 원리의 수차계를

이용한 비교 연구가 필요하다고 사료된다.

결 론

본 연구에서는 정상안을 대상으로 눈의 해부학적 위치에서의 고위수차와 연령과의 상관관계를 분석하였다.

안구성장기인 10대에서 20대에서는 연령이 증가함에 따라 안구전체 수차 중 총 고위수차와 코마수차가 감소하였고 안구전체의 구면수차와 각막과 내부의 모든 수차는 변화가 없었다. 안구의 성장이 멈춘 성인 연령대인 20대에서 60대는 연령이 증가함에 따라 안구전체의 총 고위수차, 코마수차, 구면수차는 증가하였으나 각막에서의 수차는 변화가 없었다. 20대에서 60대의 내부수차는 연령이 증가함에 따라 총 고위수차 및 구면수차는 감소하였으나 코마수차는 변화가 없었다. 노안이 진행되는 연령대인 40대에서 60대는 안구전체 수차 중 총 고위수차 및 구면수차는 변화가 없었지만 코마수차는 연령이 증가함에 따라 확연히 증가하는 상관관계를 보였다. 각막과 내부의 총 고위수차, 코마수차 및 구면수차는 40대에서 60대에서 연령의 증가와 상관관계가 없었다.

본 연구에서는 안구 성장 및 굴절이상 양상이 달라지는 연령대에서 눈의 각 해부학적 위치별로 수차와 연령과의 상관관계가 달라짐을 밝혔다. 이러한 연령대에 따른 상관관계 차이는 연령과 관계된 시력 및 시력의 질의 차이에 고위수차 변화가 주요한 원인 중의 하나가 될 것임을 보여주는 결과이다. 고위수차에 대한 정확한 분석은 인종별로 해부학적으로 근본적인 차이가 있음에도 시력교정용구나 안과용 검사장비 및 수술방법이 공통적으로 사용되고 있는 현실에서 시력과 관련된 여러 가지 현상을 이해하는데 필요하리라 보인다.

REFERENCES

- [1] Lombardo M, Lombardo G. New methods and techniques for sensing the wave aberrations of human eyes. *Clin Exp Optom.* 2009;92(3):176-186.
- [2] Atchison DA. Recent advances in measurement of monochromatic aberrations of human eyes. *Clin Exp Optom.* 2005;88(1):5-27.
- [3] Thibos LN, Hong X, Bradley A, Cheng X. Statistical variation of aberration structure and image quality in a normal population of healthy eyes. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2002;19(12):2329-2348.
- [4] American National Standards Institute. ANSI Z80.28-2017: Ophthalmics: Methods of reporting optical aberrations of eyes, 2017. <https://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=ANSI+Z80.28-2017>(6 September 2017).
- [5] International Standards Organization. ISO 24157:2008: Ophthalmic optics and instruments: Reporting aberrations of the human eye, 2008. <https://www.iso.org/standard/42041.html>(6 September 2017).
- [6] Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR. Compensation of corneal aberration of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis.* 2001;1(1):1-8.
- [7] Seiler T, Kaemmerer M, Mierdel P, Krinke HE. Ocular optical aberrations after photorefractive keratectomy for myopic and myopic astigmatism. *Arch Ophthalmol.* 2000; 118(1):17-21.
- [8] Moreno-Barriuso E, Lloves JM, Marcos S, Navarro R, Llorente L, Barbero S. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001;42(6):1396-1403.
- [9] Charman WN. Wavefront aberrations of the eye: a review. *Optom Vis Sci.* 1991;68(8):574-583.
- [10] Thibos LN. Wavefront data reporting and terminology. *J Refract Surg.* 2001;17(5):S578-S583.
- [11] Michaels DD. Optics, refraction, and visual function. *Curr Opin Ophthalmol.* 1991;2(1):61-62.
- [12] Oh JY, Kim JS, Lee DH. The change of ocular aberration after LASIK Surgery. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2003; 44(2):278-283.
- [13] Hashemian SJ, Soleimani M, Foroutan A, Joshaghani M, Ghaempanah MJ, Jafari ME et al. Ocular higher-order aberrations and mesopic pupil size in individuals screened for refractive surgery. *Int J Ophthalmol.* 2012;5(2):222-225.
- [14] Salmon TO, van de Pol C. Normal-eye Zernike coefficients and root-mean-square wavefront errors. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32(12):2064-2074.
- [15] Athaide HV, Campos M, Coasta C. Study of ocular aberrations with age. *Arq Bras Oftalmol.* 2009;72(5):617-621.
- [16] Kim YS, Ko BY. Preoperative ocular aberrations measured by zywave[®] II aberrometer in individuals screened for refractive surgery. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2013; 54(11):1680-1687.
- [17] Chun DH, Choi TH, Lee HB. Age and spherical equivalent related changes in wavefront aberrations. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2004;45(2):266-272.
- [18] McLellan JS, Marcos S, Burns SA. Age-related changes in monochromatic wave aberrations of the human eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001;42(6):1390-1395.
- [19] Amano S, Amano Y, Yamagami S, Miyai T, Miyata K, Samejima T et al. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations. *Am J Ophthalmol.* 2004;137(6):988-992.
- [20] Oshika T, Klyce SD, Applegate RA, Howland HC. Changes in corneal wavefront aberrations with aging. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999;40(7):1351-1355.
- [21] Hieda O, Kinoshita S. Measuring of ocular wavefront aberration in large pupils using OPD Scan. *Semin Oph-*

- thalmol. 2003;18(1):35-40.
- [22] Jahnke M, Wirbelauer C, Pham DT. Influence of age on optical aberrations of the human eye. *Ophthalmologe*. 2006;103(7):596-604.
- [23] Goebels SC, Auffarth GU, Holzer MP. Localization and age relations of ocular aberrations. *Ophthalmologe*. 2008; 105(9):825-831.
- [24] Wang L, Dai E, Koch DD, Nathoo A. Optical aberrations of the human anterior cornea. *J Cataract Refract Surg*. 2003;29(8):1514-1521.
- [25] Mathers WD, Lane JA, Zimmerman MB. Tear film changes associated with normal aging. *Cornea*. 1996;15(3):229-234.
- [26] Patel S, Farrell JC. Age-related changes in precorneal tear film stability. *Optom Vis Sci*. 1989;66(3):175-178.
- [27] Wei RH, Lim L, Chan WK, Tan DT. Higher order ocular aberrations in eyes with myopia in a Chinese population. *J Refract Surg*. 2006;22(7):695-702.
- [28] Song YY, Lee HJ, Jung MA, Oh HJ, Baek SS, Kang IS et al. Analysis of higher-order wavefront aberration in the cornea of Korean. *Korean J Vis Sci*. 2012;14(4):279-288.

연령대별 고위수차의 변화 양상 분석

김희성^{1,2}, 김진형², 이도형², 김소라¹, 박미정^{1,*}

¹서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 01811

²인제대학교 일산백병원 안과학교실, 경기 10380

투고일(2017년 8월 9일), 수정일(2017년 9월 1일), 게재확정일(2017년 9월 4일)

목적: 안구 성장 및 굴절이상 양상이 달라지는 연령대에서의 고위수차와 연령과의 상관관계를 알아보고자 하였다.

방법: 최대 교정 굴절시력이 20/20 이상인 10대에서 60대까지의 한국인 정상안 161안을 대상으로 수차계 Retinoscopic Aberrometer(OPD Scan II ®)를 이용하여 안구수차를 측정하였다. 안구전체, 각막 및 수정체를 포함한 내부의 총 고위수차, 구면수차, 코마수차를 측정하였으며, 연령에 따른 변화량을 분석하였다. **결과:** 안구성장기인 10대에서 20대에서는 연령이 증가함에 따라 안구전체 수차는 총 고위수차와 코마수차가 감소하였고 구면수차는 변화가 없었다. 그 연령대에서 각막 및 내부의 모든 수차들은 연령 증가와 상관관계가 없었다. 안구성장이 멈춘 성인인 20대에서 60대는 연령이 증가함에 따라 안구전체 수차 중 총 고위수차는 감소, 코마수차 및 구면수차는 증가하였으나 각막에서의 수차는 변화가 없었으며, 내부의 총 고위수차 및 구면수차는 감소하였으나 코마수차는 변화가 없었다. 노안이 시작되는 40대에서 60대는 안구전체 수차 중 총 고위수차 및 구면수차는 변화가 없었지만 코마수차는 연령이 증가함에 따라 확연히 증가하는 상관관계를 보였으며, 각막과 내부의 모든 수차는 연령 증가와 상관관계가 없었다. **결론:** 본 연구에서는 안구 성장 및 굴절이상 양상이 달라지는 연령대에서 눈의 각 해부학적 위치별로 고위수차와 연령과의 상관관계가 달라짐을 밝혔다. 이러한 고위수차 변화의 차이는 연령과 관련된 시력 및 시력의 질 변화를 초래하는 주요 원인 중의 하나가 될 것이라고 보여진다.

주제어: 연령, 총 고위 수차, 안구전체 수차, 각막 수차, 내부 수차