



## Wavefront Higher-order Aberrations in Young Myopic Adults

Jeong-Mee Kim\*

Dept. of Visual Optics, Far East University, Professor, Eumseong 27601, Korea

(Received August 16, 2019; Revised September 11, 2019; Accepted September 23, 2019)

**Purpose:** To analyze the ocular higher-order aberrations (HOAs) in young adults with myopia compared to emmetropes. **Methods:** Two hundred and fifty-eight eyes of 129 myopic individuals ( $23.38 \pm 2.28$  years; range, 20–31 years) and 68 eyes of 34 emmetropic individuals ( $22.59 \pm 1.69$  years; range, 20–26 years) were enrolled. The spherical equivalent (SE) refraction for myopic individuals ranged from  $-0.88$  to  $-11.75$  diopters (D); 67 eyes had low myopia ( $-0.88 \leq SE < -3.00$  D), 102 eyes were moderately myopic ( $-3.00 \leq SE < -6.00$  D), 47 eyes were highly myopic ( $SE \geq -6.00$  D), and 42 eyes had high astigmatism (cylinder  $> -1.00$  D). Ocular higher-order aberrations for 4 mm and 6 mm pupils were measured using a wavefront analyzer with the Hartmann-Shack technique. **Results:** No statistically significant differences were found at all levels of HOAs for the 4 mm and 6 mm pupil sizes among the refractive error groups (5 groups). There were significant correlations between the total HOAs and SE of refractive errors for a 6 mm pupil ( $r = -0.128$ ;  $p = 0.020$ ) but none for spherical aberration (SA) ( $r = -0.059$ ,  $p = 0.284$ ). **Conclusions:** Myopic individuals had slight increases in HOAs with increase in the level of myopia; however, there were no statistically differences in total HOAs, third- and fourth-order aberrations, coma, and spherical aberration between myopic and emmetropic individuals. Thus, there were no significant differences between the HOAs of young myopic and emmetropic adults.

**Key words:** Higher-order aberrations, Myopia, Spherical aberration

### 서 론

눈의 굴절이상은 유전적 요인, 환경적 요인, 영양학적 요인과 함께 다양한 다른 요소들이 결합되어 개인의 굴절상태가 결정되는 것으로 보인다. 대체적으로 이른 시기에 발병(early-onset)하는 근시는 유전적 요인과 관련이 있을 수 있고, 환경 요인 및 수차는 늦은 시기에 발병(late-onset)하는 근시와 더 관련이 있을 것으로 생각된다.<sup>[1]</sup>

오늘날, 근시의 발병 빈도, 근시의 진행 속도 및 고도근시로 이행 등은 지역적 특성과 관계없이 매우 빠르게 증가하고 있는 추세이다.<sup>[2]</sup> 근시도의 증가는 시력 및 대비감도의 감소와 관련이 있으며,<sup>[3-5]</sup> 눈의 광학시스템에서 다양한 고위수차와 결합하는 안구의 수차는 망막상의 질을 저하시키는 결합으로 잘 알려져 있다.<sup>[6,7]</sup> 동공의 주변을 통과하는 빛이 동공 중심을 통과하는 빛보다 더 강하게 굴절되거나, 또는 약하게 굴절되기 때문에 발생하는 구면수차는 고위수차 중에서 우리 눈의 시력의 질과 가장 관련이 많은 수차이기도 하다.<sup>[8]</sup> 이러한 이유로 고위수차는 굴절이상에 해당하는 저위수차와 관련하여 시력의 질을

평가하기 위한 중요한 핵심요소로 접근하게 되었다.<sup>[9]</sup>

지금까지 굴절상태와 고위수차의 관계를 평가하기 위한 여러 선행연구가 이루어졌으나, 고위수차와 근시 사이의 상관관계는 여전히 결론에 이르지 못하고 있다.<sup>[10-12]</sup> 주관적인 단일 경로 수차계(single-pass aberroscope)를 사용하여 고위수차를 측정된 Applegate<sup>[13]</sup>는 일부 근시안에서 코마 및 구면수차의 급격한 증가가 보였고, 나머지 근시안에서도 수차의 증가를 발견하였다. 반면에, 객관적인 이중경로 수차계(double-pass aberroscope)를 사용하여 고위수차를 측정된 Collins 등<sup>[14]</sup>의 연구 결과는 고도근시에서 구면수차가 정시안보다 적게 나타났다. 따라서 각각의 연구는 상반된 결론에 도달하였지만 Applegate와 Collins 등의 연구를 면밀히 살펴보면 근시안에서 고위수차의 높은 가변성이 발견되었으며, 수차계의 제한점으로 인해 측정되지 않은 일부 근시안은 수차의 양이 상당히 높을 수 있다는 여지를 남겨 놓았다.

최근에는 Hartmann-Shack 방식 및 광선 추적(laser ray tracing) 기술의 도입으로 정확하고 객관적인 고위수차의 측정이 가능해졌다.<sup>[15-17]</sup> 여러 연구에서 최신 기술을 사용

\*Corresponding author: Jeong-Mee Kim, TEL: +82-43-880-3826, E-mail: [kijeme@hanmail.net](mailto:kijeme@hanmail.net)

하여 고위수차와 근시 사이의 관계를 정시안과 비교하여 분석하였고, 그 결과는 근시안에서 고위수차가 정시안보다 다소 증가하였지만 통계적으로 중요하지 않았다고 보고되었다.<sup>[18,19]</sup>

고위수차와 근시 사이의 관련성이 명확하지 않은 선행 연구의 결과를 바탕으로 근시의 발병률이 높은 우리나라에서 넓은 범위의 근시성 굴절이상을 가진 젊은 성인을 대상으로 고위수차와 근시와의 관계, 특히 고도근시에서 고위수차의 영향이 있는지 확인하는 것도 근시안의 시력의 질을 이해하는데 도움이 될 것으로 생각한다. 따라서 본 연구는 젊은 성인 근시안에서 굴절이상의 정도에 따른 고위수차의 영향을 정시안과 비교 분석하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대상

본 연구는 정시안과 근시안을 대상으로 시력에 영향을 줄 수 있는 안과질환 및 전신질환이 없는 건강한 20대를 대상으로 하였다. 정시안의 기준은 등가구면 굴절력이  $-0.75$  D 이하(구면굴절이상  $+0.75 \sim -0.50$  D 또는 원주굴절이상  $-1.00$  D 이하)이고, 근시안의 기준은 등가구면 굴절력  $-0.88$  D 이상으로 하였다. 나안시력 및 교정시력은 단안에서 0.9 이상으로 위의 조건을 충족하는 경우 연구 대상으로 선정하였다.

### 2. 방법

나안시력 및 교정시력은 대비도가 100%인 ETDRS 시력표를 이용하여 검사하였으며 기록은 LogMAR로 나타냈다. 고위수차(Ocular higher-order aberrations; HOAs) 측정에는 Hartmann-shack 방식의 수차계인 파면 분석기(Wavefront Analyzer, KR-1W, Topcon, Japan)를 사용하여 측정하였다. 측정된 파면 고위수차는 4 mm와 6 mm의 동공크기에서 각각 분석하였다. 전체 고위수차(total HOAs), 3차 고위수차(third-order), 4차 고위수차(fourth-order), 3차 고위수차에 포함되는 코마수차(coma), 4차 고위수차에 포함되는 구면수차(spherical aberration; SA) 등을 본 연구의 고위수차 분석에 사용하였다. 전체 고위수차와 3차, 4차 고위수차를 양적으로 표현하기 위해 Zernike 계수의 RMS(root mean square)로 계산된 값을 이용하였다. 파면수차 검사는 동공크기를 최대를 하기위해 어두운 조명상태(mesopic condition, 1 Lx)에서 측정하였고, 나안의 단안상태에서 각각 3회 측정하여 평균값을 사용하였다.

본 연구는 넓은 범위의 굴절이상을 가진 건강한 젊은 성인 대상자의 고위수차를 측정하므로써 수차 측정에 대한 연령의 영향을 최소화하고자 연령 분포를 제한하였다.<sup>[20]</sup>

또한, 근시안을 굴절이상에 따라 고위수차를 분석하기 위하여 등가구면 굴절력(SE)을 기준으로 다음과 같이 네 그룹으로 분류하였다; 약도근시( $-0.50 < SE < -3.00$  D), 중등도 근시( $-3.00 \leq SE < 6.00$  D), 고도근시( $SE \geq -6.00$  D), 및 난시(Cylinder  $> 1.00$  D).

## 3. 통계 분석

통계분석은 SPSS Version 21(SPSS, Chicago, IL, USA)과 Origin 8.0 program(OriginLab Co., Northampton, USA)을 사용하였다. 콜모고로프-스미르노프(Kolmogorov-Smirnov) 검정을 실시하여 데이터의 정규분포 적합성을 확인하였으며, 두 그룹의 연속변수 비교에는 독립표본 T 검정, 세 그룹 이상의 비교에는 일원분산분석과 다중비교분석을 시행하여 유의성 검정을 실시하였고, 분석 결과는 평균(M)±표준편차(SD)로 나타냈다. 또한, 두 변수의 상관성을 검정하기 위하여 Pearson의 상관계수와 함께 단순선행회귀분석을 사용하였다. P 값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 대상자의 데이터

근시안 129명(258안)과 정시안 34명(68안)으로 총 163명(326안)이 본 연구에 참여하였다. 정시안의 구면굴절이상의 범위는  $+0.75 \sim -0.50$  D(원주굴절이상 범위:  $0.00 \sim -1.00$  D)였고, 근시안의 구면굴절이상 범위는  $-0.75 \sim -11.50$  D(원주굴절이상 범위:  $0.00 \sim -4.00$  D)이고, 등가구면 굴절력(SE)의 범위는  $-0.88 \sim -11.75$  D로 나타났다. 정시안과 근시 그룹의 평균 나이는  $22.59 \pm 1.69$ 세(범위: 20~26세)와  $23.38 \pm 2.28$ 세(범위: 20~31세)로 각각 나타났다. 각막의 비구면계수를 나타내는 Q 값의 평균은 정시안에서  $-0.29 \pm 0.11$ (범위:  $0.00 \sim -0.50$ ), 근시 그룹은  $-0.26 \pm 0.12$ (범위:  $+0.01 \sim -0.62$ )로 두 그룹 사이에서 유의한 차이가 있었다( $p = 0.049$ ). 본 연구에 참여한 대상자에 대한 데이터는 Table 1에 요약하였다.

또한, 근시안을 굴절이상의 정도에 따라 분석하기 위하여 등가구면 굴절력을 기준으로 분류한 네 그룹에서 약도 근시안( $-0.88 \leq SE < -3.00$  D)은 67안, 중등도 근시안( $-3.00 \leq SE < -6.00$  D)은 102안, 고도 근시안( $SE \geq -6.00$  D)은 47안으로 세 그룹은 난시  $-1.00$  D 이하를 포함하고 있으며, 고도난시 그룹은 난시  $-1.25$  D 이상을 포함하는 근시성 42안으로 나타났다(Table 2).

### 2. 고위수차와 굴절이상

파면 고위수차는 전체 고위수차, 3차 고위수차, 4차 고

Table 1. Demographic and biometric data of subjects

Parameters	Emmetropes	Myopes	P-value
Number of eyes (N)	68	258	
Age (years)	22.59 ± 1.69 <sup>1</sup>	23.38 ± 2.28	0.019
Gender (Male, Female)	36, 32	126, 132	
Sphere (D)	0.09 ± 0.35	-4.07 ± 2.14	0.000
Cylinder (D)	-0.40 ± 0.25	-0.75 ± 0.66	0.000
Refractive error (SE) <sup>2</sup> (D)	-0.30 ± 0.32	-4.45 ± 2.23	0.000
UCDVA <sup>3</sup> (logMAR)	-0.03 ± 0.07		
CDVA <sup>4</sup> (logMAR)		-0.02 ± 0.08	
Flat K (D)	42.25 ± 1.19	42.68 ± 1.25	0.010
Steep K (D)	43.24 ± 1.27	43.90 ± 1.41	0.000
Mesopic pupil size (mm)	6.50 ± 0.70	6.36 ± 0.75	0.162
Q-value <sup>5</sup>	-0.29 ± 0.11	-0.26 ± 0.12	0.049
Eccentricity	0.53 ± 0.12	0.50 ± 0.13	0.050

<sup>1</sup>Mean±standard deviation<sup>2</sup>SE, spherical equivalent<sup>3</sup>UCDVA, uncorrected distance visual acuity<sup>4</sup>CDVA, corrected distance visual acuity<sup>5</sup>Q-value, corneal asphericity coefficient

Table 2. Distribution of refractive errors for individuals with emmetropia and myopia

Groups	SE <sup>1</sup> (D)	Cylinder (D)
Emmetropia (n=68)	+0.50 to -0.75	≤-1.00
Low myopia (n=67)	-0.88 to -2.88	≤-1.00
Moderate myopia (n=102)	-3.00 to -5.88	≤-1.00
High myopia (n=47)	-6.00 to -11.75	≤-1.00
Astigmatism (n=42)	-2.13 to -11.00	-1.25 to -4.00

<sup>1</sup>SE, spherical equivalent

위수차, 코마수차, 및 구면수차 등 5개 항목을 동공크기 4 mm와 6 mm에서 각각 분석하였다.

4 mm 동공크기에서, 정시안의 전체 고위수차의 RMS 값은 0.106±0.043, 3차 고위수차는 0.094±0.044, 4차 고위수차는 0.046±0.021, 코마수차는 0.069±0.038, 구면수차는 0.021±0.024였고, 근시안의 전체 고위수차의 RMS 값은 0.116±0.045, 3차 고위수차는 0.102±0.046, 4차 고위수차는 0.054±0.061, 코마수차는 0.075±0.043, 구면수차는 0.026±0.028로 나타났다(Fig. 1). 정시안과 근시안 그룹 사이에서 4 mm

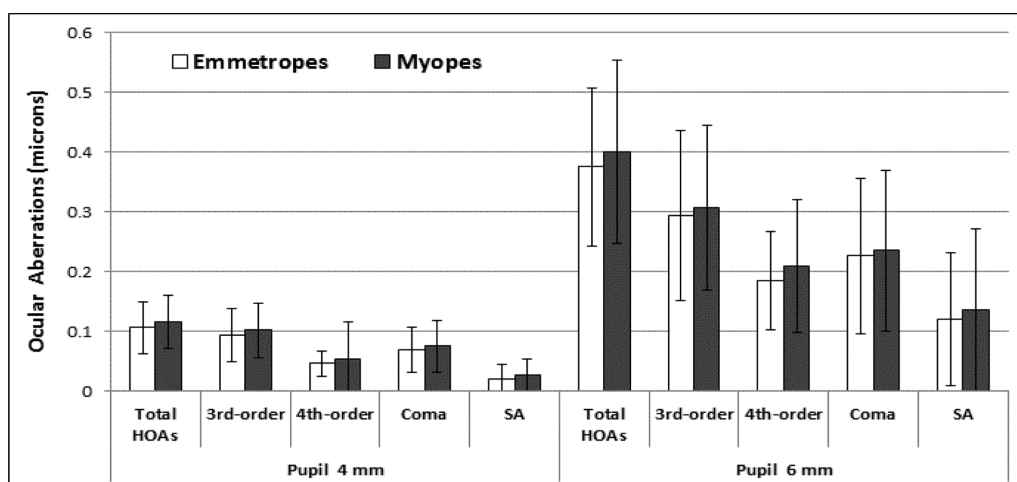


Fig. 1. Comparison of ocular higher-order aberrations for 4 mm and 6 mm natural pupil sizes, between emmetropic and myopic groups. Error bars represent standard deviation of the means.

Table 3. Mean ocular higher-order aberrations for natural pupil sizes of 4 mm and 6 mm among the different refractive groups classified by their spherical equivalent of refractive errors

Groups	Ocular aberrations (4 mm pupil)				
	Total HOAs*	3rd-order	4th-order	Coma SA**	( $\mu\text{m}$ )
Emmetropia (n=68)	0.106±0.043	0.094±0.044	0.046±0.021	0.069±0.038	0.021±0.024
Low myopia (n=67)	0.115±0.043	0.101±0.044	0.051±0.021	0.077±0.039	0.026±0.029
Moderate myopia (n=102)	0.112±0.043	0.098±0.044	0.057±0.094	0.070±0.042	0.024±0.027
High myopia (n=47)	0.123±0.046	0.108±0.046	0.053±0.024	0.079±0.041	0.030±0.025
Astigmatism (n=42)	0.122±0.054	0.107±0.055	0.053±0.023	0.079±0.053	0.027±0.031
P-value	0.235	0.391	0.830	0.492	0.474
Groups	Ocular aberrations (6 mm pupil)				
	Total HOAs*	3rd-order	4th-order	Coma SA**	( $\mu\text{m}$ )
Emmetropia	0.375±0.133	0.294±0.142	0.185±0.082	0.226±0.130	0.120±0.112
Low myopia	0.389±0.135	0.309±0.127	0.199±0.093	0.237±0.124	0.130±0.127
Moderate myopia	0.395±0.124	0.304±0.118	0.207±0.104	0.235±0.124	0.130±0.138
High myopia	0.428±0.217	0.337±0.190	0.216±0.126	0.255±0.164	0.137±0.139
Astigmatism	0.406±0.166	0.285±0.133	0.228±0.138	0.210±0.133	0.146±0.147
P-value	0.439	0.438	0.275	0.593	0.892

\*HOAs, higher-order aberrations

\*\*SA, spherical aberration

동공크기의 고위수차에 대한 유의한 차이는 발견할 수 없었다(전체 고위수차;  $p=0.086$ , 3차 고위수차;  $p=0.171$ , 4차 고위수차;  $p=0.089$ , 코마수차;  $p=0.315$ , 구면수차;  $p=0.151$ ). 6 mm 동공크기에서, 정시안의 전체 고위수차의 RMS값은  $0.375\pm 0.133$ , 3차 고위수차는  $0.294\pm 0.142$ , 4차 고위수차는  $0.185\pm 0.082$ , 코마수차는  $0.226\pm 0.130$ , 구면수차는  $0.120\pm 0.112$ 로 나타났고, 근시안의 전체 고위수차의 RMS값은  $0.401\pm 0.154$ , 3차 고위수차는  $0.308\pm 0.138$ , 4차 고위수차는  $0.210\pm 0.111$ , 코마수차는  $0.235\pm 0.134$ , 구면수차는  $0.135\pm 0.137$ 로 나타났다(Fig. 1). 두 그룹 사이에서 6 mm 동공크기의 고위수차에 대하여 통계적으로 유의한 차이는 없었다(전체 고위수차;  $p=0.169$ , 3차 고위수차;  $p=0.470$ , 4차 고위수차;  $p=0.083$ , 코마수차;  $p=0.614$ , 구면수차;  $p=0.362$ ).

본 연구 결과에서 동공크기가 커지면서 고위수차의 RMS값은 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 동공크기 4 mm와 6 mm 모두에서 근시안의 고위수차 양이 정시안과 비교해서 약간 증가하는 경향을 보여주고 있음에도 불구하고, 모든 고위수차 항목이 정시안과 근시안 사이에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

근시안을 등가구면 굴절력(SE) 기준으로 약도, 중등도, 고도근시로 분류하였으며 이들 세 그룹에서 난시는 모두  $-1.00$  D 이하이고, 난시가  $-1.25$  D 이상인 근시안을 개별적인 난시 그룹으로 분류하여 이들 4개의 그룹과 정시안을 포함하여 굴절이상의 정도에 따른 고위수차의 영향을 일원분산분석과 다중비교분석을 통하여 비교하였다(Table 3).

본 연구의 일원분산분석 및 다중비교분석 결과를 보면,

4 mm 동공크기의 전체 고위수차( $p=0.235$ ), 3차 고위수차( $p=0.397$ ), 4차 고위수차( $p=0.830$ ), 코마수차( $p=0.492$ ) 및 구면수차( $p=0.474$ ) 각각은 5개 그룹 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한, 6 mm 동공크기의 전체 고위수차( $p=0.439$ ), 3차 고위수차( $p=0.438$ ), 4차 고위수차( $p=0.275$ ), 코마수차( $p=0.593$ ) 및 구면수차( $p=0.892$ )에서도 굴절이상의 정도에 따른 5개 그룹 사이에서 통계적으로 유의한 차이는 발견할 수 없었다.

### 3. 고위수차와 굴절이상의 상관관계

Fig. 2는 6 mm 동공크기에서 전체 고위수차 및 구면수차를 포함하는 고위수차와 굴절이상 사이의 상관성을 보여주고 있다.

선형회귀분석 결과, 동공크기 6 mm에서 전체 고위수차와 굴절이상 사이의 회귀방정식은  $y = -0.007x + 0.370$ 로 근시도가 증가할수록 RMS값이 증가하는 약한 음의 상관관계를 나타냈고( $r = -0.128$ ,  $p = 0.020$ ), 4차 고위수차와 굴절이상 사이에서 회귀방정식은  $y = -0.006x + 0.184$ 로 이들 사이에서도 약한 음의 상관관계가 나타났다( $r = -0.143$ ,  $p = 0.009$ ). 그러나 구면수차와 굴절이상 사이에서는 상관성이 없었다( $r = -0.059$ ,  $p = 0.284$ ). 4 mm 동공크기에서는 고위수차와 굴절이상 사이에서 유의한 차이가 나타나는 고위수차 항목은 발견되지 않았다( $p > 0.05$ ). 한편, 굴절이상을 고도난시( $\geq -1.00$  D)와 약도난시( $< -1.00$  D)로 분류하여 개별적으로 분석한 결과도 난시량이 고위수차에 미치는 영향은 통계적으로 차이가 없었다.

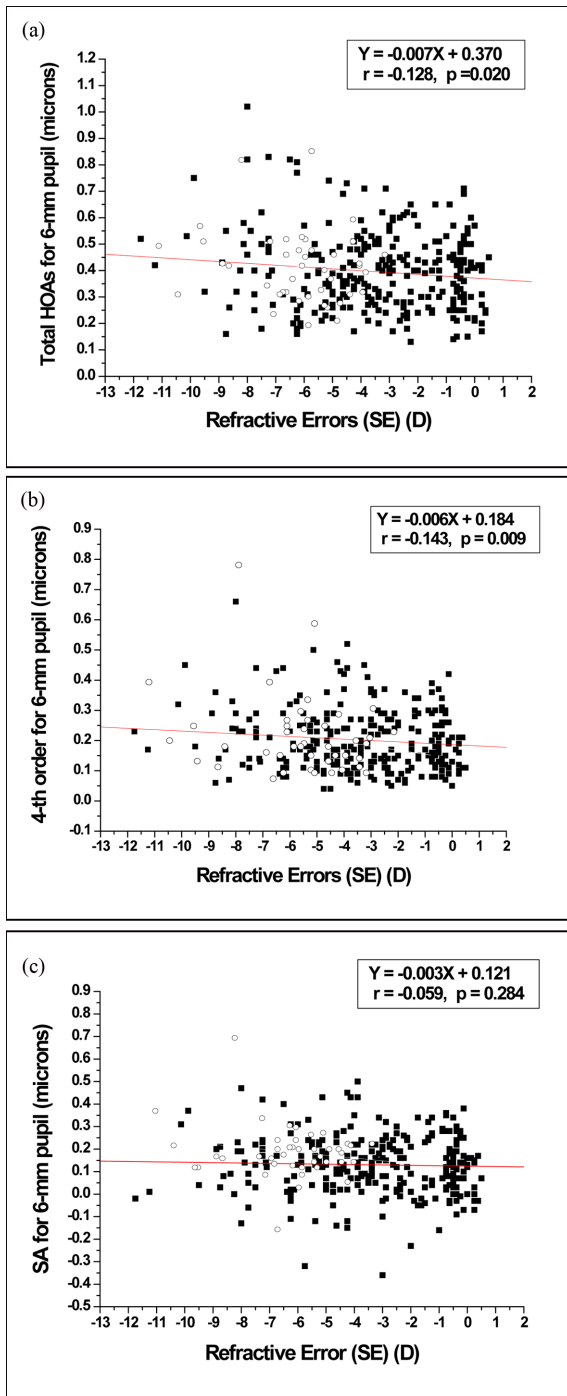


Fig. 2. Scatter plots showing the correlations of (a) ocular total higher-order aberrations(HOAs), (b) 4th-order aberrations, and (c) ocular spherical aberration (SA) against spherical equivalent (SE) of refractive errors, for a 6 mm pupil. Filled squares show data from nonastigmatic eyes with myopia (cylinder  $\leq -1.00$  D), empty circles show data from highly astigmatic eyes with myopia (cylinder  $> -1.00$  D).

따라서 고위수차와 굴절이상과의 상관관계는 6 mm 동공크기의 전체 고위수차와 4차 고위수차 항목에서 근시, 정시, 난시를 포함하는 굴절이상도와 약한 음의 상관성이

있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고위수차와 굴절이상 사이에서 상관성이 없었다는 보고한 선행연구들<sup>[21,22]</sup>과 다소 차이가 있어 보인다. 특히, 본 연구에서 분석한 고위수차의 항목과 동공크기가 비슷한 Cheng 등<sup>[21]</sup>의 연구는 근시, 정시, 원시, 난시를 포함하는 젊은 성인(200안)을 대상으로 조절마비제를 사용하여 고위수차를 측정된 결과, 전체 고위수차, 3차 고위수차, 4차 고위수차 또는 구면수차 각각에서 굴절이상과의 상관관계는 나타나지 않았다. 이들 연구결과에서 나타난 근시도 정도에 따른 고위수차 변화의 경향은 본 연구의 결과와 일치하고 있으나, 굴절이상과 고위수차 사이의 상관관계 결과가 본 연구 결과와 일치하지 않은 것은 원시안 그룹의 포함여부와 조절마비제의 사용여부 등과 관련이 있을 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서 4차 고위수차와 굴절이상 사이에서 약한 음의 상관관계가 나타났음에도 불구하고 4차 고위수차에 포함되는 구면수차와 굴절이상과의 상관성이 나타나지 않은 것은 고위수차 항목에서 주로 구면수차가 작은 양의 조절에도 음의 방향으로 이동하는 경향<sup>[23-25]</sup>이 조절마비제를 사용하지 않은 젊은 성인 대상자의 구면수차에 영향을 주어 굴절이상과 고위수차(4차 고위수차와 구면수차) 사이의 상관관계 결과의 미미한 차이를 만들었을 것으로 추측된다.

근시안과 정시안에서 고위수차를 비교한 선행연구들의 결과도 굴절상태에 따른 고위수차의 영향이 명확하게 나타나지 않는다고 보고되었다. 34안(18-32세)을 대상으로 Hartmann-Shack 방식의 수차계를 사용한 Paquin 등<sup>[18]</sup>은 근시안(27안)에서 광학적 질이 정시안(7안)보다 감소하였고 고도근시에서는 코마수차가 더 자주 나타난 것을 발견했다. 주관적인 광선추적 기술을 사용한 He 등<sup>[19]</sup>은 316안(10-29세)을 대상으로 수차를 측정된 결과는 근시안의 전체 고위수차와 4차 고위수차가 정시안보다 약간 높게 나타났지만, 전체 고위수차와 등가구면 굴절력 사이의 유의한 상관관계는 발견하지 못하였다.

앞에서 설명한 연구결과와는 대조적으로, Hartmann-Shack 방식을 사용한 Porter 등<sup>[22]</sup>은 109안(21-65세)을 대상으로 한 연구에서 근시안, 정시안 및 원시안에서 이들 굴절상태의 특성에 따른 고위수차의 차이를 찾을 수 없었다. Carkeet 등<sup>[26]</sup>도 Hartmann-Shack 방식의 수차계를 이용하여 싱가포르 초등학생(273안; 8-13세)을 대상으로 5 mm 동공 이상의 고위수차를 조사했다. 굴절이상 그룹과 인종에 약간의 변화가 있었지만, 통계적으로 유의한 경우에도 그 크기는 의미가 없었다. 또한, Hartmann-Shack 방식의 수차계를 이용하여 고위수차를 측정된 Cheng 등<sup>[21]</sup>은 각각의 고위수차에서 굴절이상(근시, 정시, 원시, 난시)에 따른 체계적인 변화를 발견하지 못하였고, 고위수차가 정시화(emmetropization) 과정에 큰 영향을 미칠 수 있다는 가

설을 기반으로 시작한 그들의 연구결과도 이러한 가설을 뒷받침할 수 있는 증거를 제시하지 못하였다고 보고했다. 이러한 Cheng 등<sup>[21]</sup>의 결론은 Carkeet 등<sup>[26]</sup>의 결론과 유사하였다. Legras 등<sup>[27]</sup>도 다양한 굴절 범위 사이에서 구면수차의 변화에 대한 증거를 찾지 못하였고, Llorente 등<sup>[28]</sup>은 근시안 그룹(34안)보다 원시안 그룹(11안)에서 다소 높은 3차 및 전체 고위수차를 발견했지만, 그들은 수차 흐름 가설에서 고위수차의 양이 높은 그룹은 원시보다 근시가 되어야한다고 지적했다.

이러한 연구결과 간의 차이 중 일부는 아마도 대상자 그룹, 측정기기의 기술 및 분석 방법의 차이로 설명될 수 있지만, 현재로서는 근시안에서 개별적인 수차 또는 전체 고위수차가 원거리 상태의 정시안보다 체계적으로 훨씬 크다는 강력한 증거는 없다고 결론을 내리고 있다.<sup>[10]</sup>

본 연구의 결과도 위에서 언급한 선행연구들의 결과와 크게 다르지 않은 것으로 해석된다. 근시성 각막굴절교정 수술을 한 경우, 고위수차를 분석하여 정시안과 수술안의 광학적 질을 비교 평가할 때 고위수차의 역할이 분명하게 차이가 나타나는 반면에,<sup>[29,30]</sup> 일반적인 눈에서 굴절이상 정도에 따라 변화된 고위수차의 RMS값은 고위수차 항목에서 크게 나타나지 않아 현재로써는 근시에서 고위수차가 시력의 질에 어느 정도 영향을 미치는지 그 역할을 분명하게 설명하는 것은 쉽지 않다. 이러한 근시와 고위수차 사이의 명확하지 않은 관련성은 추가 연구를 통해 좀 더 정교하게 검증될 필요가 있다고 생각된다.

## 결론

근시안에서 전체 고위수차, 3차 고위수차, 4차 고위수차, 코마수차, 구면수차는 4 mm와 6 mm 동공크기 모두에서 정시안보다 약간의 증가하는 경향을 보이고 있으나 근시안과 정시안 사이에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 더 나아가 근시안을 굴절이상 정도에 따라 분류한 약도, 중등도, 고도근시 및 -1.25 D 이상의 난시를 포함하는 근시 그룹에서 고위수차의 변화를 확인한 결과는 고도근시 그룹의 모든 고위수차에서 RMS값이 증가하는 경향을 보였지만 근시 그룹 사이에서도 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 따라서 고도근시를 포함하여 젊은 성인 근시안에서 고위수차는 정시안의 고위수차와 비교하여 의미 있는 차이를 발견하지 못하였다.

## REFERENCES

[1] Bullimore MA, Gilmartin B. Aspects of tonic accommo-

- ation in emmetropia and late-onset myopia. *Am J Optom Physiol Opt.* 1987;64(7):499-503.
- [2] Lee YY, Lo CT, Sheu SJ, Lin JL. What factors are associated with myopia in young adults? A survey study in Taiwan Military Conscripts. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013;54(2):1026-1033.
- [3] Strang NC, Winn B, Bradley A. The role of neural and optical factors in limiting visual resolution in myopia. *Vision Res.* 1998;38(11):1713-1721.
- [4] Jaworski A, Gentle A, Zele AJ, Vingrys AJ, McBrien NA. Altered visual sensitivity in axial high myopia: a local post-receptor phenomenon?. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006;47(8):3695-3702.
- [5] Stoimenova BD. The effect of myopia on contrast thresholds. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48(5):2371-2374.
- [6] McLellan JS, Prieto PM, Marcos S, Burns SA. Effects of interactions among wave aberrations on optical image quality. *Vision Res.* 2006;46(18):3009-3016.
- [7] Liang J, Williams DR. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1997;14(11):2873-2883.
- [8] Fleming JF. Corneal asphericity and visual function after radial keratotomy. *Cornea.* 1993; 12(3):233-240.
- [9] Liou HL, Brennan NA. Anatomically accurate, finite model eye for optical modeling. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1997;14(8):1684-1695.
- [10] Charman WN. Aberrations and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2005;25(4):285-301.
- [11] 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.
- [12] Philip K, Martinez A, Ho A, Conrad F, Ale J, Mitchell P et al. Total ocular, anterior corneal and lenticular higher order aberrations in hyperopic, myopic and emmetropic eyes. *Vision Res.* 2012;52(1):31-37.
- [13] Applegate RA. Monochromatic wavefront aberrations in myopia: noninvasive assessment of the visual system. *Optical Society of America Technical Digest Series.* 1991;1: 234-237.
- [14] Collins MJ, Wildsoet CF, Atchison DA. Monochromatic aberrations and myopia. *Vision Res.* 1995;35(9):1157-1163.
- [15] Salmon TO, Thibos LN, Bradley A. Comparison of the eye's wave-front aberration measured psychophysically and with the Shack-Hartmann wave-front sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1998;15(9):2457-2465.
- [16] He JC, Marcos S, Webb RH, Burns SA. Measurement of the wave-front aberration of the eye by a fast psychophysical procedure. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1998;15(9):2449-2456.
- [17] Moreno-Barriuso E, Marcos S, Navarro R, Burns SA. Comparing laser ray tracing, the spatially resolved refractometer, and the Hartmann-Shack sensor to measure the ocular wave aberration. *Optom Vis Sci.* 2001;78(3):152-156.

- [18] Paquin MP, Hamam H, Simonet P. Objective measurement of optical aberrations in myopic eyes. *Optom Vis Sci.* 2002;79(5):285-291.
- [19] He JC, Sun P, Held R, Thorn F, Sun X, Gwiazda JE. Wavefront aberrations in eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults. *Vision Res.* 2002;42(8):1063-1070.
- [20] 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.
- [21] Cheng X, Bradley A, Hong X, Thibos LN. Relationship between refractive error and monochromatic aberrations of the eye. *Optom Vis Sci.* 2003;80(1):43-49.
- [22] Porter J, Guirao A, Cox IG, Williams DR. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2001;18(8):1793-1803.
- [23] Atchison DA, Collins MJ, Wildsoet CF, Christensen J, Waterworth MD. Measurements of monochromatic ocular aberrations of human eyes as a function of accommodation by the Howland aberroscope technique. *Vision Res.* 1995;35(3):313-323.
- [24] He JC, Burns SA, Marcos S. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye. *Vision Res.* 2000;40(1):41-48.
- [25] Cheng H, Barnett JK, Vilupuru AS, Marsack JD, Kasthurirangan S, Applegate RA et al. A population study on changes in wave aberrations with accommodation. *J Vis.* 2004;4(4):272-280.
- [26] Carkeet A, Luo HD, Tong L, Saw SM, Tan DT. Refractive error and monochromatic aberrations in Singaporean children. *Vision Res.* 2002;42(14):1809-1824.
- [27] Legras R, Chateau N, Charman WN. A method for simulation of foveal vision during wear of corrective lenses. *Optom Vis Sci.* 2004;81(9):729-738.
- [28] Llorente L, Barbero S, Cano D, Dorronsoro C, Marcos S. Myopic versus hyperopic eyes: axial length, corneal shape and optical aberrations. *J Vis.* 2004;4(4):288-298.
- [29] Kim JM, Lee AY, Lee KJ. Corneal asphericity and optical performance after myopic laser refractive surgery. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2013;18(2):179-186.
- [30] Kim JM. Analysis of corneal higher-order aberrations after myopic refractive surgery. *Curr Opt Photonics.* 2019;3(1):72-77.

## 젊은 성인 근시안의 파면 고위수차

김 정 미\*

극동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27601

투고일(2019년 8월 16일), 수정일(2019년 9월 11일), 게재확정일(2019년 9월 23일)

**목적:** 젊은 성인 근시안의 고위수차를 정시안과 비교하여 분석하였다. **방법:** 근시안 129명의 258안(나이:  $23.38 \pm 2.28$ 세, 범위: 20~31)과 정시안 34명의 68안(나이:  $22.59 \pm 1.69$ 세, 범위: 20~26)을 대상으로 하였고, 근시안의 등가구면 굴절력의 범위는  $-0.88 \sim -11.75$  D; 약도근시( $-0.88 \leq SE < -3.00$  D) 67안, 중등도근시( $-3.00 \leq SE < -6.00$  D) 102안, 고도근시( $SE \geq -6.00$  D) 47안 및 고도난시(Cylinder  $> -1.00$  D) 42안이었다. 4 mm와 6 mm의 동공크기에 따른 눈의 고위수차는 Hartmann-Shack 방식의 파면 수차 분석계를 이용하여 측정하였다. **결과:** 동공크기 4 mm와 6 mm에 대한 모든 고위수차 수준에서 굴절이상 이 서로 다른 그룹(5 그룹)들 사이는 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았다. 6 mm 동공크기에서 전체 고위수차와 굴절이상은 상관관계가 나타났지만( $r = -0.128$ ,  $p = 0.020$ ), 구면수차와 굴절이상 사이에서는 상관성이 없었다( $r = -0.059$ ,  $p = 0.284$ ). **결론:** 근시안은 근시의 정도가 높아질수록 고위수차가 약간 증가를 하였지만 근시안과 정시안 사이의 전체 고위수차, 3차 고위수차, 4차 고위수차, 코마수차, 구면수차에서 통계적으로 차이가 없었다. 따라서 젊은 성인 근시안에서 고위수차는 정시안과 비교하여 의미있는 차이는 발견하지 못하였다.

**주제어:** 고위수차, 근시, 구면수차