

근시도와 고위수차와의 상관관계

유남열^{1,2}, 김소라¹, 박미정^{1,*}

¹서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 139-743

²서울밝은세상안과, 서울 135-897

투고일(2014년 05월 11일), 수정일(2014년 06월 5일), 게재확정일(2014년 6월 18일)

목적: 특정 범위의 근시도 및 난시도에서 근시도 변화에 따른 고위수차의 증감 분석을 통해 근시도와 고위수차의 상관관계 알아보고자 하였다. **방법:** Hartmann-Shack방식의 LADARWave 장비를 이용하여 총 992 안의 고위수차를 분석하였고, 현성굴절검사로 측정된 근시도값의 증가와 고위수차의 상관관계를 알아보았다. **결과:** 전체 실험대상안에서 근시도가 증가함에 따라 총코마수차와 구면수차가 통계적으로 유의하게 증가하였으며, 트레포일 수차, 난시수차, 테트라포일 수차는 감소하였다. 근시도가 작은 균일수록 근시도에 따른 총코마수차의 변화가 더 급격하였으며 근시도가 작은 군에서는 통계적으로도 유의한 변화가 나타났다. 근시도가 -3.00 D 미만인 군은 근시도에 따른 구면수차값의 변화가 크지 않은 반면에 -3.00 D 이상인 군과 -6.00 D 이상인 군에서는 근시도에 따른 변화의 폭이 컸다. 특정 난시도 범위에서 근시도와 고위수차의 상관관계를 알아보았을 때 총코마수차는 난시도가 -1.00 D 이하인 군에서만 통계적으로 유의한 감소가 나타났다. 구면수차의 경우는 난시도가 작은 균일수록 근시도 증가에 따른 구면수차의 증가 폭이 더 커졌으며 모든 난시군에서 통계적으로 유의한 변화가 나타났다. 수평 및 수직코마수차는 특정 근시도 및 특정 난시도군별 일관성있는 증감관계가 성립하지 않았으며 통계적으로도 유의하지 않았다. **결론:** 본 논문에서 밝힌 저위수차와 고위수차와의 상관관계를 통하여 시력의 질과 관련된 이해와 시력의 질 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 보여진다.

주제어: Hartmann-Shack, 고위수차, 구면수차, 코마수차, 근시도, 난시도

서 론

고위수차는 시력의 질적인 부분을 방해하는 중요한 요인이 되므로, 고위수차의 측정은 시력의 질적인 부분을 설명할 때 많이 사용되고 있으며, 지금까지 고위수차의 상관관계와 관련된 많은 연구 결과들이 발표되고 있다.^[1-2] 한국인을 대상으로 한 각막의 전면 구면수차는 연령과 유의한 양의 상관관계를 보였지만, 후면 구면수차는 유의한 음의 상관관계를 보였으며, 전면 및 후면 코마수차 모두 연령과 유의한 양의 상관관계를 보인다고 하였다.^[1] 임상에서는 -0.27 μm 의 고위수차를 가지고 있는 비구면 인공수정체를 사용하여 각막이 평균적으로 가지고 있는 +0.27 μm 라는 가정의 고위수차를 줄여주려는 노력을 하고 있으며,^[2] Kuroda 등^[3]은 Hartmann-Shack방식을 이용하여 극성을 가지고 있는 구면수차를 분석하였는데, 핵백내장에서는 구면수차가 음성으로 나오지만, 피질백내장에서는 구면수차가 양성으로 나온다고 하였다.

임상에서도 이러한 연구결과들이 활용되어 고위수차를 측정할 수 있는 장비를 이용해 수술 후 시력의 질과 빛 번짐과 정량화된 수차도 객관적인 수치로 측정해 볼 수 있게 되었고,^[4] 시력교정 수술 후의 고위수차 증가를 줄이고자 레이저 기기 제조사들은 새로운 엑시머 레이저 시스템에 웨이브프론트 방식을 추가하여 시력교정수술에 반영을 하려는 노력을 하고 있으며,^[5] 웨이브프론트 방식은 시력교정수술에 반영하지 않은 것보다 시력교정수술에 반영하는 방법에서 고위수차가 줄어드는 장점을 가지고 있다.^[6] 그러나 이렇게 수차를 보정하여 실시한 시력교정수술에서도 여전히 수술 후에 고위수차가 남아있다는 연구 결과들이 보고되고 있다.^[6-10]

또한, 시력의 질을 위해 유수정체 안내렌즈삽입술 혹은 백내장 수술 전, 후^[11-16] 그리고 콘택트렌즈를 착용하기 전과 후^[17-18]의 고위수차 변화에 대한 연구들이 진행된 바 있다. 그러나 아직까지 시력의 질을 위한 교정을 위해 고위수차에 대한 더 많은 이해가 필요하며 수차는 눈의 각

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

※본 논문의 일부내용은 2012년도 한국안광학회 통계학술대회에서 구연으로 발표되었음.

층에서 종합적인 값일 뿐만 아니라 수차 간에도 서로 연관이 있을 수밖에 없는 값이라 단순히 고위수차만의 고려로는 시력의 질에 대한 이해나 향상을 도모하기 어렵다.

이에 본 연구에서는 근시도가 증가함에 따른 고위수차의 변화 양상을 특정 근시도별 및 특정 난시도별로 분석하여 저위수차인 근시도와 고위수차와 상관관계를 좀 더 구체적으로 밝히고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

최대교정시력 1.0 이상, 각막부터 망막까지 질환이 없는 환자 20 세에서 62 세까지 총 496 명 992 안(남자:여자 = 340 안:652 안)을 대상으로 하였으며, 이 대상안들은 모두 현성굴절검사 값과 웨이브프론트 장비의 refraction 값의 차이가 0.50 D 이하이었으며 대상안의 굴절력값은 Table 1에 제시하였다. 연구대상의 시험전 콘택트렌즈 착용 중단 기간은 소프트렌즈는 1주 이상, 토릭소프트렌즈는 2주 이상, 하드렌즈는 3주 이상이었다. 근시도와 난시도에 따른 고위수차의 변화를 분석하기 위해 근시도에 따라 0.00 D ≤ 근시도 < -3.00 D, -3.00 D ≤ 근시도 < -6.00 D, -6.00 Ds ≤ 근시도 의 3군으로 나누어 각각 M₁군, M₂군,

M₃군으로 하였으며(Table 2), 난시도에 따라 0.00 D ≤ 난시도 < -1.00 D, -1.00 D ≤ 난시도 < -2.00 D, -2.00 D ≤ 난시도 로 나누어 각각 A₁군, A₂군, A₃군으로 분류하여 비교하였다(Table 3). 근시도와 난시도는 현성굴절검사값을 기준으로 분류하였다.

2. 수차측정

Hartmann-Shack 방식을 이용한 Alcon사의 LADARWave® (Alcon, Fort Worth, Texas, USA) 장비를 이용하여 ablation zone 6.5 mm로 세팅 후 수차를 측정하였다. 검사실 환경의 조도는 27 lx이었으며, 대상안이 시표를 바라보는 각도에서의 조도는 8 lx 로 어두운 공간에서 검사를 진행하였다. 외부적인 요인을 없애기 위해 조절마비제를 점안한 후 고위수차를 측정하였다.

본 연구에서 측정된 고위수차 중 3차항과 4차항의 고위수차만을 대상으로 하였다. 3차항은 총코마수차(Total Coma Aberration), 수직코마수차(Vertical Coma Aberration, Z_{3⁻¹}), 수평코마수차(Horizontal Coma Aberration, Z_{3¹}), 수직트리포일수차(Vertical Trefoil Aberration, Z_{3⁻³}), 수평트리포일수차(Z_{3³})이고, 4차항은 구면수차(Spherical Aberration, Z_{4⁰}), 수직난시수차(Vertical Astigmatism Aberration, Z_{4⁻²}), 수평난시수차(Horizontal Astigmatism Aberration, Z_{4²}), 수

Table 1. The participated subjects in the study

	No. of eye		Age (year)	Range of age (year)	Myopia (D)	Spherical range (D)	Astigmatism (D)	Cylindrical range (D)
	Male	Female						
Refractive error group	340	652	33.3±8.8	20~62	-4.93±2.36	-0.37 ~ -12.00	-1.24±1.10	0.00 ~ -5.75

Table 2. The subjects' refractive error classified by myopic degree

Group	Classification of myopia	Age (year)	Myopia (D)	Spherical range (D)	Astigmatism (D)	Cylindrical range (D)	No. of eye
Group M ₁	0.00 D ≤ Myopia < -3.00 D	35.93±9.77	-2.06±0.58	-0.37 ~ -2.87	-0.91±0.84	0.00 ~ -5.00	214
Group M ₂	-3.00 D ≤ Myopia < -6.00 D	34.33±8.80	-4.39±0.86	-3.00 ~ -5.87	-0.94±0.91	0.00 ~ -5.75	476
Group M ₃	-6.00 D ≤ Myopia	29.95±6.91	-7.82±1.51	-6.00 ~ -12.00	-1.94±1.21	0.00 ~ -4.25	302

Table 3. The subjects' refractive error classified by astigmatic degree

Group	Classification of astigmatism	Age (year)	Myopia (D)	Spherical range (D)	Astigmatism (D)	Cylindrical range (D)	No. of eye
Group A ₁	0.00 D ≤ Astig. < -1.00 D	35.53±8.84	-4.20±1.74	-0.62 ~ -12.00	-0.41±0.26	0.00 ~ -0.75	501
Group A ₂	-1.00 D ≤ Astig. < -2.00 D	33.78±9.30	-4.40±2.08	-0.37 ~ -11.62	-1.30±0.27	-1.00 ~ -1.75	254
Group A ₃	-2.00 D ≤ Astig. < -6.00D	28.25±5.59	-7.04±2.54	-0.62 ~ -12.00	-2.93±0.72	-2.00 ~ -5.75	237

Table 4. Higher-order aberration (Zernike coefficients) of the subjects and its statistical analysis

Type of aberration (Zernike Term)	Aberration		P - value
	Average (μm) $\times 10^2$	Range (μm) $\times 10^2$	
Total Coma Aberration	21.75 \pm 12.65	1 to 73	0.013
Vertical Coma Aberration (Z_3^{-1})	3.14 \pm 21.52	-63 to 73	0.740
Horizontal Coma Aberration (Z_3^1)	1.38 \pm 12.26	-37 to 42	0.113
Trefoil Aberration (Z_3^{-3})	-7.58 \pm 17.17	-60 to 53	0.016
Trefoil Aberration (Z_3^3)	-0.08 \pm 13.67	-45 to 47	0.206
Spherical Aberration (Z_4^0)	17.86 \pm 16.52	-38 to 71	0.001
Astigmatism Aberration (Z_4^{-2})	-0.29 \pm 6.29	-20 to 20	0.140
Astigmatism Aberration (Z_4^2)	-1.53 \pm 9.19	-37 to 32	0.000
Tetrafoil Aberration (Z_4^{-4})	0.38 \pm 6.54	-19 to 27	0.376
Tetrafoil Aberration (Z_4^4)	1.10 \pm 7.53	-23 to 42	0.018

평테트라포일수차(Horizontal Tetrafoil Aberration, Z_4^{-4}), 수직테트라포일수차(Vertical Tetrafoil Aberration, Z_4^4)이었으며, 이들 고위수차를 대상으로 근시도의 증가에 따른 고위수차의 변화를 분석하였다.

3. 굴절검사

현성굴절검사는 시력검사실에서 직접 실시하였으며, 시힘렌즈세트와 시스템 차트(system chart, NIDEK, SC-2000, JAPAN)를 이용하여 동일한 공간에서 검사를 진행하였다. 시력검사실 환경의 조도는 7 lx였으며, 시력검사 중 환자의 시선에서의 조도는 8 lx로 어두운 환경에서 검사를 진행하여 외부적인 영향을 최대한 줄여주었다. 또한, 표기법의 전환에 의해 근시도의 변화가 생길 가능성을 배제하기 위해 굴절이상 데이터를 (S-C) 표기법 값과 (S+C) 표기법 값을 Spherical Equivalent (SE) 값으로 전환하여 각기 비교해보았으며 이들 방법을 이용한 굴절이상값과 고위수차의 상관성이 동일하게 나옴을 확인하였다. 본 논문에서는 굴절이상을 (S-C) 표기법을 이용하였다.

4. 통계

SPSS version 12.0를 이용하여 선형 단순 회귀분석을 실시하였고, 결과는 평균값 \pm 표준오차로 수치화했으며, 상관분석은 이변량상관계수로 분석을 실시하여 상관관계를 r 값으로 알아보았다. 분석에서는 p값이 0.05 이하이면 유의한 상관관계가 있는 것으로 판정 하였다.

결 과

1. 근시도와 고위수차의 상관관계

총 992안의 고위수차를 조사한 결과, 개인별 고위수차

의 차이가 큼을 확인할 수 있었다. 즉, 총코마수차의 경우 평균 0.218 μm 이었으나, 개인에 따라서 작게는 0.01 μm 에서 크게는 0.73 μm 에 달하였고, 구면수차의 경우 역시 -0.38 μm 에서 0.71 μm 로 개인차가 컸으며 그 외의 수차도 개인별 차이가 커서 오차범위가 컸다(Table 4).

이러한 개인별 고위수차의 차이가 근시도에 따라 달라지는 지를 밝히기 위해 근시도와 고위수차와의 상관관계를 분석하였다. 근시도가 증가함에 따라 총코마수차 구면수차가 통계적으로 유의하게 증가하였으며($P=0.0127$, $P=0.0005$), 트레포일수차(Z_3^3 , Z_3^{-3}), 수평난시수차(Z_4^2), 테트라포일수차(Z_4^4)는 감소하였다(Table 4). 근시도에 따라 통계적으로 유의한 고위수차의 변화가 나타난 수차 중에서 임상적으로 의의가 있는 코마수차와 구면수차가 특정 범위의 근시도를 가진 눈에서 비슷한 정도로 달라지는 지를 알아보기 위해 대상안을 0.00 D \leq 근시도(M_1 군) < -3.00 D, -3.00 D \leq 근시도(M_2 군) < -6.00 D, -6.00 D \leq 근시도(M_3 군) 으로 분류하여 분석하였다.

총코마수차는 근시도를 분류하지 않았을 때는 근시도에 따른 수차값의 추세선 기울기가 -0.424였으나, M_1 군에서는 -2.744, M_2 군에서는 -1.664, M_3 군에서는 0.243로 근시도가 작은 균일수록 근시도에 따른 코마수차의 변화가 더 급격하였으며 근시도가 -6.00 D 미만인 M_1 군과 M_2 군에서는 근시도에 따른 코마수차 변화는 통계적으로도 유의한 변화가 나타났다(Fig. 1) ($P_{M1}=0.0306$, $P_{M2}=0.0175$). 구면수차의 경우 근시도를 분류하지 않았을 때의 근시도에 따른 구면수차값의 추세선 기울기가 -0.766였으며, M_1 군에서는 0.376, M_2 군에서는 -2.907, M_3 군에서는 -1.175로 근시도가 -3.00 D 미만인 군의 경우는 근시도에 따른 구면수차값의 변화가 크지 않은 반면에 -3.00 D 이상인 군에서는 근시도에 따른 변화의 폭이 컸다(Fig. 2) ($P_{M2}=0.0005$, $P_{M3}=0.0948$).

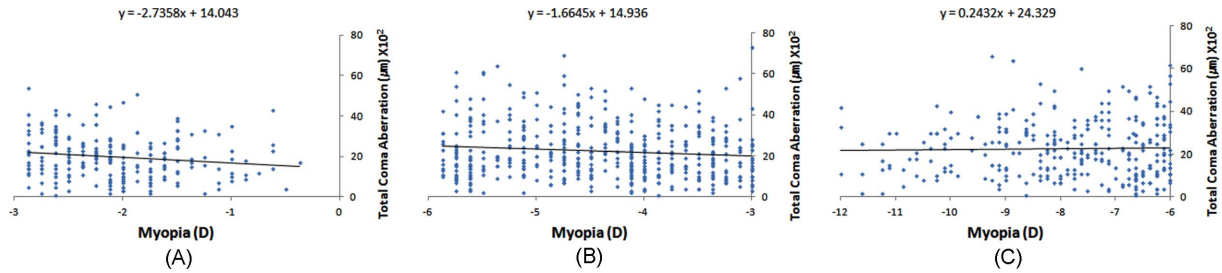


Fig. 1. Change in the coefficient of total coma aberration in each myopia group. (A) myopic degree of $-0.00 \leq D < -3.00$, (B) myopic degree of $-3.00 \leq D < -6.00$, (C) myopic degree of $-6.00 \leq D < -12.00$

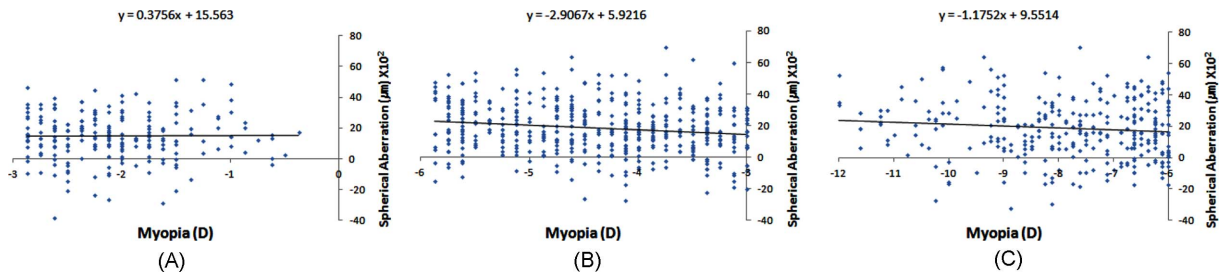


Fig. 2. Change in the coefficient of spherical aberration in each myopia group. (A) myopic degree of $-0.00 \leq D < -3.00$, (B) myopic degree of $-3.00 \leq D < -6.00$, (C) myopic degree of $-6.00 \leq D < -12.00$

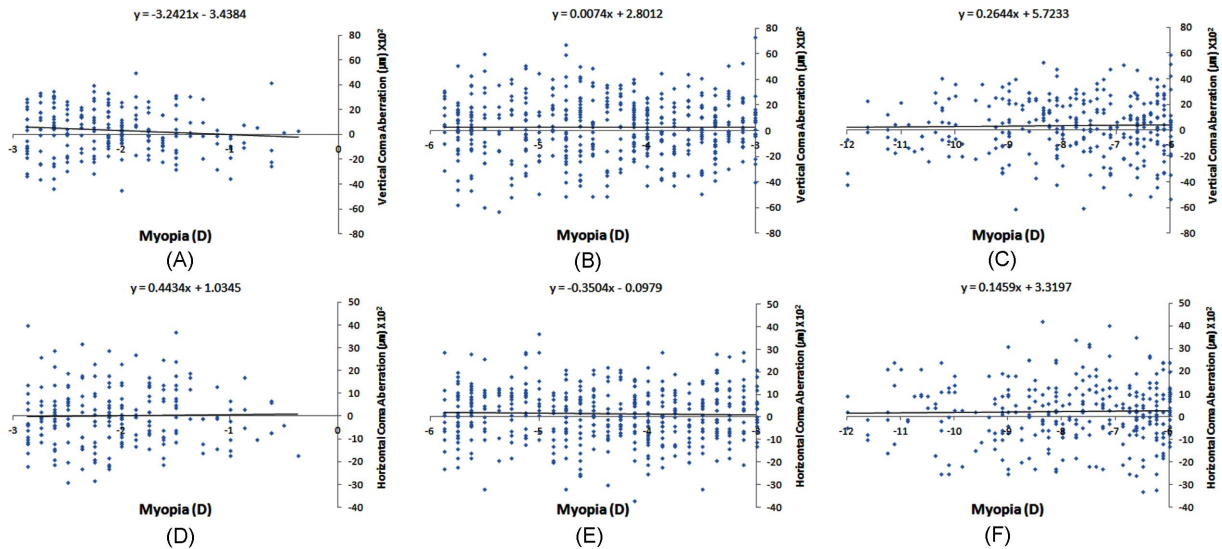


Fig. 3. The change of vertical and horizontal coma aberrations according to the increase of myopic degree. (A) vertical coma aberration in myopic group of $-0.00 \leq D < -3.00$, (B) vertical coma aberration in myopic group of $-3.00 \leq D < -6.00$, (C) vertical coma aberration in myopic group of $-6.00 \leq D < -12.00$, (D) horizontal coma aberration in myopic group of $-0.00 \leq D < -3.00$, (E) horizontal coma aberration in myopic group of $-3.00 \leq D < -6.00$, (F) horizontal coma aberration in myopic group of $-6.00 \leq D < -12.00$

수직코마수차와 수평코마수차의 경우 근시도를 군별로 분류하지 않고 상관관계를 알아보았을 때 통계적으로 의미있는 변화가 나타나지 않았으나 이러한 결과가 근시도 정도에 따라서 동일하게 나타나는 지를 알아보았다. 수평코마수차는 근시도 군과 상관없이 변화폭이 작았으며 통계적으로도 유의하지 않은 변화였다. 수직코마수차는 M₁ 군에서만 근시도에 따른 변화폭이 컸으나 통계적으로 유

의하지 않았으며 다른 군에서는 근시도에 따른 변화가 크게 나타나지 않아 특정 근시범위에서의 수평 및 수직코마수차의 증감과 근시도와의 의미있는 상관관계는 없음을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

2. 특정 난시도 범위에서 근시도와 고위수차의 상관관계
특정 난시도 범위에서 근시도와 고위수차의 상관관계를

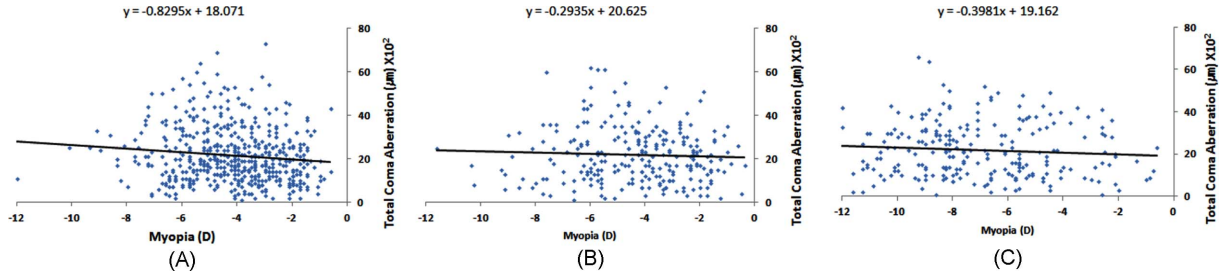


Fig. 4. The correlation between myopic degree and total coma aberration in certain astigmatic groups. (A) astigmatic degree of $0.00 \leq D < -1.00$, (B) astigmatic degree of $-1.00 \leq D < -2.00$, (C) astigmatic degree over -2.00

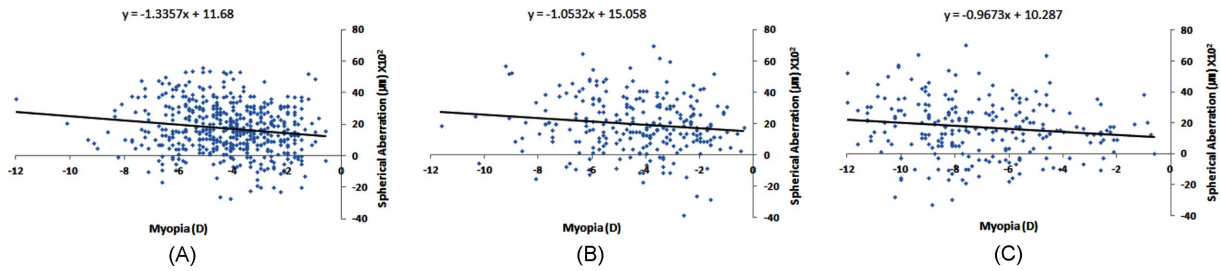


Fig. 5. The correlations between myopic degree and spherical aberration in certain astigmatic group. (A) astigmatic degree of $0.00 \leq D < -1.00$, (B) astigmatic degree of $-1.00 \leq D < -2.00$, (C) astigmatic degree over -2.00

알아보기 위해 대상안을 난시도에 따라 $0.00 D \leq$ 난시도 (A_1 군) $< -1.00 D$, $-1.00 D \leq$ 난시도 (A_2 군) $< -2.00 D$, $-2.00 D \leq$ 난시도 (A_3 군)로 분류하고 분석해보았다(Table 2).

총코마수차는 난시도 정도에 따라 분류하지 않았을 때 근시도와 상관관계를 나타낸 추세선의 기울기는 -0.424 이었으며 난시도가 가장 작은 A_1 군에서는 -0.824 , A_2 군에서는 -0.294 , A_3 군에서는 -0.398 로 $-1.00 D$ 미만의 난시도를 가진 A_1 군에서만 통계적으로 유의한 감소가 나타나 근시도와 총코마수차의 상관관계는 특정 난시도군에서만 나타남을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 구면수차의 경우는 난시도에 따라 분류하지 않았을 때 추세선 기울기가 -0.766 였으며 A_1 군에서는 -1.336 , A_2 군에서는 -1.053 , A_3 군에서는 -0.967 으로 난시도가 작은 군일수록 근시도 증가에 따른 구면수차의 증가 폭이 더 커졌다(Fig. 5). 또한, 각 난시도군에서의 근시도에 따른 구면수차의 변화는 통계적으로도 유의하였다($P_{A1}=0.0006$, $P_{A2}=0.0437$, $P_{A3}=0.0358$).

수직코마수차와 수평코마수차는 난시도군별 일관성 있는 증감관계가 성립하지 않았으며 통계적으로도 유의하지 않은 변화였다(data not shown).

고 찰

최근 시력교정술이 발달하고, 백내장 환자에게 안내렌즈를 삽입해주는 시술이 증가하고 있는 현황에서 정확한 시력교정을 위해 활용되고 있는 검사기기를 통해 안구에 대한 여러 가지 학술적인 가치가 있는 연구결과들이 발표

되고 있다. 송 등^[1]은 20세에서 71세의 성인을 연령에 따라 5군으로 분류하여 분석하였고 그 결과 전면의 총고위수차는 연령 증가와 유의한 상관관계를 가지지만 후면의 총고위수차는 상관관계가 없으며, 전면의 총구면수차는 연령과 유의한 양의 상관관계를 가지지만 후면의 총구면수차는 유의한 음의 상관관계를 가진다고 한 바 있어 연령에 따른 시력의 질에 다양한 요인이 작용할 수 있음을 밝힌 바 있다. 또한, 박 등^[9]은 유수정체 안내후방콘택트 렌즈 삽입 후 3개월간 추적 관찰하여 통계적으로 유의한 각막의 총고위수차, 총구면수차, 총코마수차, 총트레포일수차 및 3차항, 4차항의 root-mean square 값의 변화가 없음을 보고한 바 있어 시력의 질 평가를 위해 고위수차의 분석을 사용하였다.

본 연구에서는 저위수차인 근시와 고위수차와의 상관관계에 대한 연구를 통해 시력의 질과 관련된 연구 및 시술에 필요한 연구자료를 제공하고자 하였다. 본 연구에서는 근시도의 증가가 코마수차, 구면수차, 난시수차, 트레포일수차, 테트라포일수차와 상관관계가 있음을 밝혔다. Karimian 등^[10]에 따르면 등가구면굴절력의 변화에 따라 구면수차와 수평코마수차가 유의한 상관관계가 있었으며, 수평트레포일과 구면수차 그리고 수직코마수차는 근시성 난시안에서 유의한 상관관계가 있다고 하였다. 본 논문의 결과와 Karimian 등의 결과에 차이가 있는 이유는 중동인(이란인)과 동양인(한국인)이라는 인종(ethnicity)적인 차이에서 오는 해부학적인 차이와 본 연구의 실험대상안이 992안이나 Karimian 등의 연구에서는 123안에 불과하여

실험대상 안수의 차이도 원인이 되었을 거라 보인다. 즉, 본 연구에서 근시도를 -3.00 D 미만, -3 D 이상에서 -6 D 미만, -6 D 이상으로 분류하여 근시도와 고위수차의 상관관계를 분석하고, 난시도를 -1 D 미만, -1 D 이상에서 -2 D 미만, -2 D 이상으로 분류하여 근시도와 고위수차의 상관관계를 분석하였을 때 특정 범주내에서 수평코마수차나 수직코마수차의 의미있는 상관관계가 나타난 것으로 보아 Karimian 등의 연구는 소수의 인원을 대상으로 하였기에 선정된 대상안의 굴절이상 이 한쪽으로 치우쳐서 이러한 결과가 나타날 수 있다고 사료된다.

본 연구에서 특정 근시도 범위에서 고위수차와 근시도의 상관관계를 분석하였을 때 총코마수차는 근시도가 작은 군 일수록 상관관계가 높았으며, 구면수차는 근시도가 큰 군에서 근시도에 따른 변화폭이 더 커 근시도 범위에 따라 상관관계가 있는 수차의 종류가 다를 수 있었다. 특정 난시군 범위에서 총코마수차와 근시도의 상관관계가 -1 D 미만인 난시도에서만 존재하였고 -1 D 이상의 난시도를 가졌을 경우는 근시도와 총코마수차의 상관관계가 유의하지 않았다. 또한, 특정 난시군 범위에서의 구면수차와 근시도의 상관관계를 분석하였을 때 난시도가 클수록 근시도에 따른 구면수차의 변화폭이 작아져 근시도와 총코마수차 및 구면수차와의 상관관계에 난시도가 큰 영향을 끼침을 알 수 있었다. 이러한 결과는 웨이브프론트 라식수술에서 수차를 보정하여 시술하였다하더라도 남아 있는 난시도의 정도에 따라 고위수차 잔존량이 달라질 수 있을 가능성이 있음을 의미한다 할 수 있겠다. 실제로 표 등^[8]은 웨이브프론트 라식수술 후 파면저위수차와 총파면수차는 유의하게 감소하였고 파면고위수차는 유의하게 증가하였으나, 구면수차와 고위난시수차가 크게 증가하였다고 한 바 있다.

본 논문의 결과에서는 근시도가 높아짐에 따라 구면수차가 증가하였으며 이는 근시도가 높은 사람에게 인공수정체 삽입시 적절한 디자인의 렌즈 선정에 도움이 될 수 있을 것으로 보인다. Nanavaty 등^[20]에 따르면 구면안내렌즈(spherical IOL), 부분비구면안내렌즈(spherically neutral IOL), 비구면안내렌즈(aspheric IOL)를 삽입한 후 고위수차 중 수직코마수차, 구면수차, 수평코마수차를 측정하여 분석하였을 때, 수평코마수차는 3종류의 인공수정체에서 차이가 없었으나 구면수차와 수직코마수차는 비구면 인공수정체를 삽입했을 경우 고위수차가 더 작았다고 하였다. 또한, Rocha 등^[14]의 연구에 의하면 비구면 인공수정체를 삽입하였을 때가 구면 인공수정체를 삽입하였을 때 보다 구면수차와 총고위수차가 통계적으로 유의하게 감소하였다고 하여 본 연구결과에서 근시도가 높아짐에 따라 구면수차가 증가한다는 결과를 연관지어 볼 때, 근시도가 높은

사람에게 비구면 인공수정체를 삽입해주면 시력의 질적인 부분을 높여주는데 높은 기여할 가능성이 있는 것으로 보인다.

시력의 질을 높이기 위한 고위수차와 시력교정방법의 관계에 대한 연구들은 다양하게 진행되고 있다. Marcos 등^[13]도 구면인공수정체 보다 비구면 인공수정체 삽입한 후 구면수차가 더 적었으며 시력의 질도 더 좋았다는 연구결과를 발표한 바 있다. 또한, 비구면 소프트콘택트렌즈를 착용하면 전체 고위수차와 구면수차가 콘택트렌즈를 착용하지 않은 경우보다 감소한다는 연구결과가 보고된 바 있으며,^[18] 전면에 경계가 없고 일정한 면을 가지고 있는 비구면 디자인의 RGP렌즈를 착용하면 고위수차 중 구면수차가 감소한다고 하는 등 소프트콘택트렌즈 RGP렌즈 모두 비구면디자인에 의해 구면수차가 감소함을 알 수 있었다.^[21] 본 논문에서 근시도가 증가할수록 구면수차와 총코마수차가 커졌고 이러한 경향은 난시도와도 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌으므로 근시도가 높은 사람에게 비구면 렌즈를 착용 시에 구면렌즈에 비해 상대적으로 구면수차의 감소가 가능해서 광학적인 시력의 질을 더 높여줄 수 있을 것으로 예측된다.

결 론

본 연구에서는 총 992안을 대상으로 저위수차인 근시도와 고위수차와의 상관관계를 알아보았다. 전체 대상안의 고위수차를 분석하였을 때, 근시도가 증가함에 따라 코마수차와 구면수차가 통계적으로 유의하게 증가하였으며, 트레포일수차(Z_3^3 , Z_3^{-3}), 수평난시수차(Z_4^2), 테트라포일수차(Z_4^4)는 감소하였다.

총코마수차는 근시도를 분류하지 않았을 때는 근시도에 따른 수차값의 추세선 기울기가 -0.424였으나, 근시도 -3.00 D 미만 군은 -2.744, -6.00 미만 군은 -1.664, -6.00 D 이상군은 0.243로 근시도가 작은 군일수록 근시도에 따른 총코마수차의 변화가 더 급격하였다. 근시도를 분류하지 않았을 때의 근시도에 따른 구면수차값의 -3.00 D 이상인 군에서는 근시도에 따른 변화의 폭이 컸다. 특정 근시범위에서의 수평 및 수직코마수차의 근시도와 상관관계는 없었다.

특정 난시도 범위에서 근시도와 고위수차의 상관관계를 분석하였을 때 난시도를 고려하지 않은 분석에서의 총코마수차는 근시도와 상관관계가 있었으나 난시도를 고려하였을 때 -1.00 D 미만의 난시도 군에서만 통계적으로 유의한 감소가 나타나 근시도와 총코마수차의 상관관계는 난시도에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 구면수차의 경우는 난시도가 큰 군일수록 근시도 증가에 따른

구면수차의 증가 폭이 더 작아졌으며 모두 통계적으로도 유의한 변화였다. 수직코마수차와 수평코마수차는 난시도 군별 일관성있는 증감관계가 성립하지 않았다.

본 연구를 통하여 한국인의 저위수차인 근시도와 고위수차와의 상관관계에 대한 의미있는 학술자료를 제시하였다. 이를 통하여 시력교정술이나 시력교정용구를 사용하였을 때 발생하는 시력의 질에 대한 이해를 높이는 데 도움이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 2014년 서울과학기술대학교 교내 연구비의 지원으로 수행되었습니다.

The study was supported by Seoul National University of Science and Technology.

REFERENCES

- [1] Song YY, Lee HJ, Jung MA, et al. Analysis of higher-order wavefront aberration in the cornea of Korean. *Korean J Vis Sci.* 2012;14(4):279-288.
- [2] Mun GH, Im SK, Park HY, Yoon KC. Comparison of clinical results between two spherical aberration-free intraocular lenses. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2010;51(5):670-676.
- [3] Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, Oshika T, Hirohara Y, Mihashi T. Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract. *Am J Ophthalmol.* 2002;134(1):1-9.
- [4] Lee KH, Ahn JM, Kim EK, TI Kim. Comparison of optical quality parameters and ocular aberrations after wavefront-guided laser in-situ keratomileusis versus wavefront-guided laser epithelial keratomileusis for myopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2013;251:2163-2169.
- [5] Ahn SM, Seok SS, Park CY. Considering spherical aberration in choosing the wavefront map for laser vision correction. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2011;52(2):147-156.
- [6] Yang SJ, Kim TI, Tchah HW. Comparison of wavefront-guided LASIC and conventional LASIC. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2004;45(1):117-124.
- [7] Oh JR, Kim JS, Lee DH. The change of ocular aberration after LASIC surgery. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2003;44(2):278-283.
- [8] Pyo JY, Mah KC. Analysis of wavefront aberrations after wavefront-guided LASIC surgical operation. *Korean J Vis Sci.* 2011;13(2):115-126.
- [9] Park SH, Yum JH, Choi SK, et al. Changes in higher order aberration after implantable contact lens implantation. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2010;51(9):1210-1216.
- [10] Smadja D, Santhiago MR, Mello GR, Touboul D, Mrochen M, Krueger RR. Corneal higher order aberrations after myopic wavefront-optimized ablation. *J Refract Surg.* 2013;29(1):42-49.
- [11] Jang JY, Oh HJ, Yoon KC. Changes of higher-order aberrations after microcoaxial cataract surgery according to pupil size. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2012;53(9):1260-1268.
- [12] Moon SJ, Lee DJ, Lee KH. Induced astigmatism and high-order aberrations after 1.8-mm, 2.2-mm and 3.0-mm coaxial phacoemulsification incisions. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2011;52(4):407-413.
- [13] Marcos S, Barbero S, Jimnez-Alfaro. Optical quality and depth-of-field of eyes implanted with spherical and aspheric intraocular lenses. *J Refract Surg.* 2005;21(3):223-235.
- [14] Rocha KM, Soriano ES, Chalita MR, et al. Wavefront analysis and contrast sensitivity of aspheric and spherical intraocular lenses: a randomized prospective study. *Am J Ophthalmol.* 2006;142(5):750-756.
- [15] Nanavaty MA, Spalton DJ, Marshall J. Effect of intraocular lens asphericity on vertical coma aberration. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(2):215-221.
- [16] Guirao A, Tejedor J, Artal P. Corneal aberrations before and after small-incision cataract surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004;45(12):4312-4319.
- [17] Spors F, Egan DJ, Shen J, McNaughton LE, Mann S, Patel NM. Corneal wavefront aberrations in patients wearing multifocal soft contact lenses for myopia control. *Open Journal of Ophthalmology.* 2012;2:45-53.
- [18] Kim JM, Mun MY, Kim YC, Lee KJ. Change of spherical aberration with aspheric soft contact lens wear. *J Korean Oph Opt Soc.* 2012;17(4):365-372.
- [19] Karimian F, Feizi S, Doozande A. Higher-order aberrations in myopic eyes. *J Ophthalmic Vis Res.* 2010;5(1):3-9.
- [20] Nanavaty MA, Spalton DJ, Marshall J. Effect of intraocular lens asphericity on vertical coma aberration. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(2):215-221.
- [21] Kim JY, Eom JH, Bae HJ, Yun MO, Kim HS. An analysis of high-order aberration according to the RGP lens design. *Korean J Vis Sci.* 2011;13(2):139-148.

Correlations between Higher-order Aberrations and Myopic Degree

Nam-Yul Ryu^{1,2}, So Ra Kim¹, and Mijung Park^{1,*}

¹Dep. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

²Seoul BalgeunSeSang EYE Clinic, Seoul 135-897, Korea

(Received May 11, 2014; Revised June 5, 2014; Accepted June 18, 2014)

Purpose: The present study was aimed to investigate the correlation between higher-order aberration and myopic degree by the analysis of fluctuation of high-order aberration according to the change of myopic degree in certain ranges of myopia and astigmatism. **Methods:** The high-order aberration in a total of 992 eyes was analyzed by using a LADARWave device employing Hartmann-Shack system, and the relation between high-order aberration and myopia by the change of myopic degree through manifest refraction test. **Results:** In all subjects, spherical aberration and total coma aberration were significantly increased by the increase of myopic degree, however, trefoil aberration and astigmatic aberration and tetrafoil aberration were decreased. With the group of lower myopic degree, the change of coma aberration was greater by myopic degree and its change was significantly different. The change of spherical aberration by myopic degree was greatly large in the a group of -3.00 D or more and the group of -6.00 D or more where as its change was not large in the group of lower than -3.00 D. The significant decrease of coma aberration was observed only in the group of astigmatic degree of -1.00 D or less when analyzing the correlation between the higher-order aberrations and myopia in the certain groups of astigmatic degree. In the case of spherical aberration, the significant change was shown in all astigmatic groups, however, its increase was larger with the increase of myopic degree in lower degree of astigmatism. The consistent relationship in variations of horizontal and vertical coma aberration in certain myopic and astigmatic groups was neither established nor statistically significant. **Conclusions:** It is concluded that the correlation between the higher-order aberration and low-order aberration obtained from the results of the present study can help the understanding related to vision quality and the improvement of vision quality.

Key words: Hartmann-Shack, Higher-order aberration, Spherical aberration, Coma aberration, Myopic degree, Astigmatic degree