

조도와 동공 영역의 측정 변화에 따른 굴절력과 수차의 비교

김봉환, 한선희, 박병규, 황현주, 배예솔, 서정빈, 여예은, 윤민정, 김학준*

춘해보건대학교 안경광학과

Comparison of the Refracting Power and Aberration according to the Measurement Change in Illumination and Area of the Pupils

Bong-Hwan Kim, Seon-Hee Han, Byeong-Gyu Park, Hyeon-Ju Hwang, Ye-Sol Bae,
Jeong-Bin Seo, Ye-Eun Yeo, Min-Jeong Yoon, Hak-Jun Kim

Department of Optometry, Choonhae College of Health Sciences

(Received March 15, 2016; Received March 22, 2016; Accepted March 29, 2016)

Abstract

Purpose. We compared with the refracting power and aberration according to the measurement change in illumination and the pupils area by using the auto refraction instruments.

Methods. In this study it were examined 64 eyes without eye disease, 21.4 (± 2.54) age, 32 (male 10, female 22) patients. Experiments in general illumination using the auto refraction instruments (HRK-8000A, Huvitz, Korea) was measured in both eyes 3 times and after scotopic for 30 minutes in a dark room blocked the light was measured in the same way. Aberration were measured coma, spherical aberration, high and low order aberrations in a general illumination (3500 lux) and low illumination (5 lux) of the pupil area 3.96 mm and 5.96 mm.

Results. In the general illumination for measuring of the pupil area, the refractive power, coma, spherical aberration and low order aberration was no significant difference. In the low illumination, spherical aberration of the pupil area was 0.005 (± 0.015) μm in a 3.96mm, 0.014 (± 0.020) μm in a 5.96 mm and appeared a significant difference($p = 0.003$). In general and low illumination on the results of comparing the measured values of the refractive power and aberration at the pupil area 3.96 mm, high order aberrations was 0.205(± 0.145) μm in general illumination, 0.132(± 0.075) μm in low illumination and appeared a significant differences($p = 0.001$). High order aberrations at the pupil area 5.96 mm was 0.278(± 0.244) μm in general illumination, 0.150(± 0.092) μm in low illumination and appeared a significant differences($p = 0.000$).

* Corresponding Author: hakjunkim@ch.ac.kr

Conclusions. When the eye refractive power measured by the automatic refraction does not depend on the illumination conditions and size of the observation pupil area, it was found that aberrations are affected by the illumination and the observation pupil area. It was found that the eye examination chamber illumination to obtain accurate measurement produces better results to decrease than to increase.

Key words : Aberration, Illumination, Pupil, Refracting power

1. 서론

이상적인 눈이라면 어느 곳으로부터 입사하는 어떤 색의 빛이라도 망막에 초점을 맺어 잘 보아야 한다. 하지만 여러 가지 문제로 빛을 완벽하게 결상 시키지 못하는데, 이러한 부류의 오차를 수차라고 한다. 수차란, 원거리의 한 점에서 나온 빛이 광학계에 의하여 상을 맺을 때 이론상 평행광선은 광학계를 지난 다음 한 점에 맺혀야 하지만, 실제로는 한 점에 완전히 모이지 않고 흐려지거나 일그러져 보이는 현상을 말한다.^{1),2)} 전체 안구 수차의 구성은 각막전면의 수차와 안내 광학의 수차로 구성된다고 하였으며, 이는 각막후면, 수정체, 초자체를 모두 포함하는 개념이다.³⁾

눈의 광학적 오차는 대부분 안경 등으로 교정이 가능한 저위수차와 Helmholtz에 의해 발견된 안경 등으로 교정할 수 없는 광학적 오차인 고위수차가 있는데 고위수차는 코마(coma), 트레포일(trefoil), 구면수차(spherical aberration) 등의 용어와 제르니케(Zernike) 계수로 표현되고 있다.⁴⁾⁻⁶⁾ 구면수차는 망막 상에서 주변광의 초점이탈로 인해 발생하고, 코마수차는 안광학적 요소들이 동축이 아닐 때, 시축이 동공의 기하학적 중심을 통과하지 않은 경우 발생하게 되며 망막에서의 점상은 혜성 모양을 갖게 된다.⁷⁾

일반적으로 시력에 영향을 미치는 인자로서는 조도, 시표와 배경의 대비, 동공크기, 굴절이상도 등이 있지만 저위수차와 고위수차로 나뉘는 파면수차에서 중시하는 것은 동공의 크기이다. 시력이 안정적일 때의 동공크기는 2.4 mm

이며 동공크기가 커짐에 따라 여러 수차가 커지고 초점심도가 얇아져 핀홀효과는 작아지므로 시력이 저하된다.⁸⁾ 따라서 검사실의 환경요인 중 검사실의 조도는 동공의 크기에 영향을 미침으로써 시력에 영향을 주게 된다.⁹⁾

최근 파면 측정기술이 발달하면서 안구 전체의 광학적인 지도를 얻을 수 있는 수차계가 보급되고 있으며, 안구의 광학적인 지도를 제르니케 다항식을 이용하여 산술적으로 정량화 할 수 있는 것이 가능하게 되면서 시력의 질적인 면에 관심이 더해 가고 있다.¹⁰⁾ 일반적으로 시력의 질은 고위수차를 교정하고 대비감도나 야간시력 또는 눈부심을 고려하여 평가하고 있고, 다양한 각막의 형태에 의해 수차가 다르게 발생하며 이로 인해 시력의 질이 떨어진다.

현재 국내 안경원에서도 간단하게 굴절이상도를 측정하면서 수차가 측정되는 자동굴절검사기기의 보급이 늘어나고 있는 추세에 따라 안경원은 물론 안과병원에서도 흔히 사용되고 있다.¹¹⁾

본 연구에서는 자동굴절검사기를 사용하여 굴절이상도에 대한 환경적 영향 인자로서 조도의 영향에 따른 시력의 질을 알아보고자 일반 조도와 낮은 조도일 때의 동공 영역에 따른 굴절력과 수차 변화의 상관관계를 연구하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

대상자들은 본 연구의 취지에 동의하며 특별

한 전신질환이나 안질환이 없는 평균 연령 21.4(±2.54)세 32명(남:10명, 여:22명)의 대학생을 대상으로 64안에 대하여 검사를 실시하였고, 데이터 불량 3안을 제외한 61안을 비교 분석 하였다.

2.2. 방법

실험에 사용된 기기로는 마이크로렌즈 배열 (micro lens array)을 통해 망막에서 반사되어 나오는 빛의 파면을 수많은 점으로 나누어 각 위치별 굴절 데이터를 측정·분석해서 정밀하게 굴절이상을 진단하고, 측정된 계수들은 동공의 영역을 3.96 mm와 5.96 mm 두 가지 경우로 나눠 제르니케 Map과 그래프로 나타내어 쉽게 파악할 수 있는¹²⁾ 자동굴절검사기기(HRK-8000A, Huvitz, Korea)를 사용하였다. 조도의 측정은 조도계(LX-101, Lutron, Taiwan)를 사용하였으며, 일반 조도는 자연광 상태에서 15시경에 측정하였고, 낮은 조도는 외부에서 들어오는 불빛을 차단하고 실내의 조명도 꺼진 상태의 검안실 조도에서 각각 5회 측정하여 평균값으로 구하였다. 일반 조도에서 시력 측정 때의 조도는 3500 lux로, 우안, 좌안 각각 3회씩 자동굴절검사기기로 동공 영역 3.96 mm와 5.96 mm 두 범위에서 굴절력, 난시, 구면수차, 코마수차, 저위수차, 고위수차를 측정하여 평균값으로 분석하였다. 낮은 조도 측정 시의 검사실 조도는 5 lux에서 30분간 암순응이 이루어질 수 있도록 한 후 동일한 방법으로 측정하였다.

통계분석은 Microsoft Excel 14.0(t-검정, 등분산가정두집단)을 이용하여 검증하였고, 유의수준(p value)이 0.05이하이면 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

3. 결과

3.1. 일반 조도에서 동공 영역별 변화

밝은 상태에서 동공 영역별로 관찰 시 굴절력, 난시, 구면수차, 저위수차에 있어서 상관계

수($r>0.95$)로 나타남으로 거의 같은 값이라 판단 할 수 있으며, 고위수차는 3.96 mm 동공영역에서 평균값 0.205(±0.145) μm , 5.96 mm 동공영역에서 평균값 0.278(±0.244) μm 로 유의한 차이($p=0.047$)가 있었다(Fig. 1).

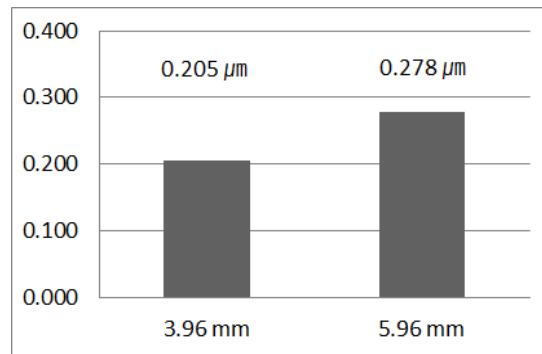


Fig. 1. High order aberrations average of the pupil area in general illumination.

3.2. 낮은 조도에서 동공 영역별 변화

어두운 상태에서 동공영역별 관찰 시 굴절력, 난시, 코마, 고위, 저위수차에 있어서는 유의한 변화를 관찰 할 수 없었고, 3.96 mm에서 구면수차 0.005(±0.015) μm 로 5.96 mm에서 구면수차 0.014(±0.020) μm 로 나타나 유의한 차이($p=0.003$)가 있었다(Fig. 2).

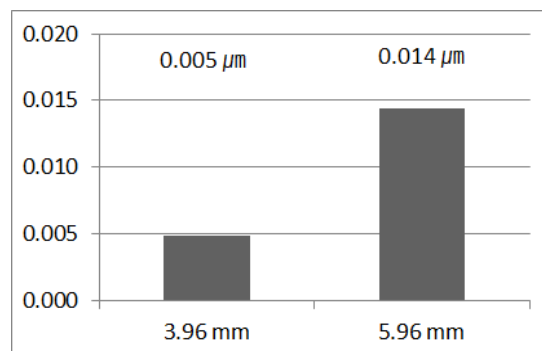


Fig. 2. The spherical aberration average of the pupil area in low illumination.

3.3. 3.96mm 동공 영역에서 조도에 따른 변화

동일한 조도에서 동공 영역별로 조사한 경우

보다 3.96 mm 동공 영역에서의 조도에 따른 변화를 조사한 결과 유의한 차이가 더 많이 나타났다. 굴절력, 난시, 코마, 구면수차, 저위수차 대부분의 유의한 차이는 없었으나, 두 데이터 사이의 상관성에 있어서는 코마, 구면수차, 고위 수차가 $r < 0.45$ 로 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 특히 고위수차는 일반 조도일 때 평균값 $0.205(\pm 0.145) \mu\text{m}$, 낮은 조도일 때 평균값 $0.132(\pm 0.075) \mu\text{m}$ 로 유의한 차이($p=0.001$)를 나타냈다(Fig. 3).

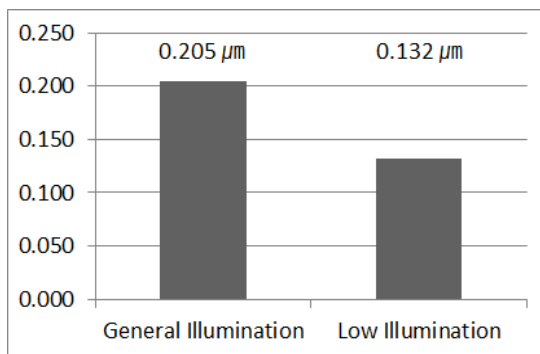


Fig. 3. High order aberrations average according to the illuminance on the pupil area 3.96 mm.

3.4. 5.96 mm 동공 영역에서 조도에 따른 변화

굴절력, 코마, 구면수차, 저위수차는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 3.96 mm 동공영역을 관찰 때와 마찬가지로 조도별 데이터 사이의 구면수차, 코마, 고위수차의 상관관계가 $r < 0.40$ 로 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 고위수차는 일반 조도에서 평균값 $0.278(\pm 0.244) \mu\text{m}$, 낮은 조도에서 평균값 $0.150(\pm 0.092) \mu\text{m}$ 로 유의한 차이($p=0.000$)가 나타났다(Fig. 4). 또한 난시값에 있어서는 3.96 mm 동공영역을 관찰했을 때와 유사하게 검안실에서 측정된 값에 대해 일반 조도와 상관계수($r=0.765$), 낮은 조도와 상관계수($r=0.943$)로 나타났다.

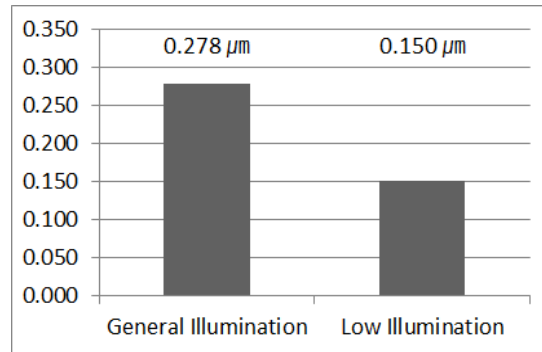


Fig. 4. High order aberrations average according to the illuminance on the pupil area 5.96 mm.

4. 고찰

하나의 광원으로부터 출발한 빛이 여러 가닥으로 나뉘어서 진행할 때 각 가닥을 이루고 있는 광선에서 시간적으로 동일한 위상에 해당하는 부분을 서로 연결하면 하나의 가상적인 면이 형성되는데 이러한 면을 파면(wavefront)이라고 한다. 평행광선의 파면은 평면을 이루며, 한 광원으로부터 산란되는 빛의 파면은 타원을 이루게 된다. 이러한 복잡한 파면의 알고리즘을 이용한 수학적 다항식으로 분석이 가능하며, 다항식의 항이 많을수록 복잡한 형태의 파면을 보다 근접하게 반영하는 수식이 된다.¹³⁾⁻¹⁵⁾

파면수차는 광학계에서 만들어지는 복잡한 초점 오차를 재현하기에 편리하다. 광학계의 구경과 같은 눈의 동공은 이론상 파면과 실제 수차를 갖는 파면의 파면오차를 광학적으로 구분하거나 광학적 경로의 길이 차이를 확인하기에 효율적이다.

수차계는 기존의 각막의 굴절력 평가 방법과 달리 안구 내 광학적 상태를 평가하는 중요한 기법으로 사용되고 있다. 안구의 전체적인 굴절 상태를 좀 더 정확하게 이해하게 되었으며, 수차분석기의 개발로 시력교정은 물론이거니와 시력의 질까지 향상 시킬 수 있게 되었다.^{16),17)}

구 등은 총 고위수차는 굴절이상과 관련이 없으며, 동공이 큰 안구에서 더 높게 측정되는 결과를 보였고 연령과 관련해 변화가 있고 또한 구면수차는 각막의 형태에 따라 각막의 구조가 편장형(prolate)에서 편원형(oblata)으로 변

하면서 발생된다고 하였다.¹⁸⁾

McLellan 등은 구면수차는 나이에 따라 유의하게 증가하였으며($r=0.19$, $p=0.26$), 이 증가량은 나이에 따른 대비감도의 감소에 비례한다고 보고 하였다.¹⁹⁾

Petterson 등은 구면수차가 고위수차에 영향을 미치며, 6 mm 동공 크기에서 0.2~0.5 μm 로 측정되었으며 나이에 따라 수정체의 변화 때문에 양성 구면수차가 증가하였다고 했고, 홍 등은 동공크기는 수차와 상관성이 없었다고 하였다.^{20),21)}

어두워지면 근시상태로 변화되는 눈의 굴절상태를 야간근시라고 하며 어두워지면 동공이 커지면서 구면수차가 발생하여 초점심도가 약아지고 구면수차가 증가된다.²²⁾ 이 등은 어두운 곳에서의 동공의 크기가 남성은 10 mm에서 5 mm, 평균은 6.86 mm이었고, 여성은 10 mm에서 6 mm, 평균은 7.08 mm로 측정되어 야간근시가 동공의 크기와 함께 증가한다고 하였다.²³⁾

5. 결론

본 연구에서 일반 조도일 때 측정하는 동공 영역에 따른 굴절력, 코마수차, 구면수차와 저위수차는 유의한 차이가 없었고, 낮은 조도일 때 동공 영역에 따라 구면수차는 3.96 mm에서 $0.005(\pm 0.015)$ μm , 5.96 mm에서 $0.014(\pm 0.020)$ μm 으로 유의한 차이($p=0.003$)가 있었다. 일반 조도에서 관찰 동공영역별로 차이가 나타나지 않는 이유는 축소된 상태이므로 넓은 영역(5.96 mm)으로 측정하는 것은 차이가 없고, 낮은 조도에서는 산동 됨으로 인해 동공을 넓은 영역으로 측정 가능하기 때문이라 보인다.

고위수차는 3.96 mm 동공 영역에서 일반 조도 $0.205(\pm 0.145)$ μm , 낮은 조도 $0.132(\pm 0.075)$ μm 으로 유의한 차이가 있었고($p=0.001$), 5.96 mm 동공 영역에서 일반 조도 $0.278(\pm 0.244)$ μm , 낮은 조도 $0.150(\pm 0.092)$ μm 로 유의한 차이가 있었다($p=0.000$). 그러므로 고위수차는 조도에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

최근 백내장 수술 시 다초점 인공수정체 삽

입이 늘어나고 각종 스마트 기기, 인간이 인식할 수 있는 이상의 초고화질 미디어제품의 보급 등 삶의 질의 발달로 인해 시생활에 있어서도 단순히 굴절력의 교정뿐만 아니라 시력의 질 증대에도 관심이 높아지고 있다.

본 실험을 통해 자동굴절기기를 이용하여 안구 측정 시 굴절력은 조명상태나 관찰 동공영역의 크기에 영향을 받지 않지만, 수차는 조도나 관찰 동공 영역에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다. 안굴절상태에 있어 정확한 측정을 위해서는 검안실의 조도를 높이기보다는 낮게 하는 것이 더 좋은 결과를 얻을 수 있다는 것을 확인하게 되었다. 기존의 연구에서는 안경 등으로 교정이 불가능한 굴절 이상 불규칙 난시 등이 수차라고 밝혀졌으나, 안경원에서도 기본적으로 사용하는 자동굴절기기를 통해서도 수차 측정이 가능하므로, 시력의 질을 높이기 위한 수차 데이터의 기초자료를 제공하고 현대인의 시력의 질을 향상시키기 위해 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 춘해보건대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

REFERENCES

1. Artal P, Guirao A. Opt Lett. 1998;23:1713-1715.
2. Ivanoff A. Paris, Editions dw la Revue d'optique, 1953.
3. Sicam VA, Dubbelman M, van der Heijde RG : Spherical abereation of the anterior and posterior surfaces of the human cornea. J. Opt. Soc. Am. A. 2006;23(3):544-549.
4. Helmholtz H: Handbuch der physiologischen optic. Leipzig Leopold Voss ., 1867;137-47.
5. Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille JF: Objective measurement of the wave aberrations of the human eye using a Shack Hartmann wavefront

- sensor. *J. Opt. Soc. Am. A. Opt. Image. Sci. Vis.* 1994;11(7):1949-57.
6. Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT. et al.: Standards for reporting the optical aberrations of eyes, *Journal of refractive surgery.* 2002;18:S652-S660.
 7. Walsh G. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1988;8: 178-182.
 8. Seong PJ, "Ophthalmic Optics" *Deahakseorim.* 2003;57.
 9. Kim JD: Clinical examining eyes for the optician and the eye functional disturbance prescription. Seoul, Shinkwang. 2006;13-20.
 10. Charman WN, *Wavefront Aberration of the Eye : A Review. Optom. Vis. Sci.* 1991;68:574-583.
 11. Shim HS, Lee SW, Shim MS, Choi SM, Jang SJ: Accommodative response measurement using both eyes open-view autorefractometer. *J. Korean Oph. Opt. Soc.* 2005;10(4):323-328.
 12. http://www.huvitz.com/oph_kor/product/HRK-8000a.html
 13. Liang J, Goelz S, Bille J : Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use a Hartmann Shack wavefront sensor, *Am J Opt Soc Am.* 1994;11:1949-1957.
 14. Thibos LN : Principle of Hartmann-Shack aberrometry. *J Refractive Surg.* 2000;16:563-565.
 15. Moreno-Barriuso E, Nararro R : Laser ray tracing versus Hartmann-Shack sensor for measuring optical aberration in the human eyes. *Invest Ophthal Vis Sci.* 2000;17:974-985.
 16. Charman WN: *Wavefront Aberration of the Eye A Review. Optom. Vis. Sci.* 1991;68(8): 574-83.
 17. Oh HC, Lee DJ, Park WC: Changes of the Corneal Aberration Following Cataract Surgery. *J. Korean of Ophthalmol. Soc.* 2009; 50(4):518-522.
 18. Koo GR, Choi SG, Lee HY : Classification of Corneal Topography and Analysis of Astigmatism based on Computer-Assisted Videokeratography. *J. Korean of Ophthalmology.* 1993;34:1101-1108.
 19. McLellan JS, Marcos S, Burns SA : Age-Related Changes in Monochromatic Wave Aberrations of the Human Eye. *Investigative Ophthalmology and Visual Science.* 2001;42: 1390-1395.
 20. Pettersson AL, Jarko C, Alvin A, Unsbo P, Brautaset R : Spherical aberration in Contact lens wear. *Contact Lens & anterior Eye.* 2008; 31(4):189-193.
 21. Hong SH, Park SB, Jeon SW, Kim DP, Lee NS, Kim JS, Lee SD, Sim SH, Mah KJ : Analysis of Corneal Topographic Patterns and Aberration in Normal College Students. *Korean J. Vis.* 2008;Vol. 10(4):303-316.
 22. Seong PJ, "Ophthalmic Optics" *Deahakseorim.* 2002;64.
 23. Hark-Jun Lee, Chang-Sik Kim. Study on the Night Myopia of Refraction. *J. Korean Oph. Opt. Soc.* 2008;13(1):107-112.