

각막지형과 동공크기에 의한 굴절교정값의 변화

노연수, 김상엽, 문병연, 조현국*

강원대학교 안경광학과, 삼척 245-907

투고일(2014년 08월 1일), 수정일(2014년 09월 2일), 게재확정일(2014년 9월 18일)

목적: 동공크기가 달라질 때 각막의 고유한 형태가 굴절검사 완전교정값에 미치는 영향을 조사하였다. **방법:** 평균 연령 23.33 ± 1.78 세의 30명(60안)을 대상으로 검사실 조도 760 lx와 2 lx에서 각각 자각적굴절검사를 실시하여 단안 완전교정하고, 동공의 크기를 측정하였다. 그리고 각막지형을 측정 후 peak data를 이용하여 각막지형의 변화를 분석하였다. **결과:** 검사실 조도 760 lx에서 측정된 동공크기는 3.74~4.00 mm, 2 lx에서는 5.52~5.90 mm로 측정되었다. 760 lx에서 2 lx로 조도가 변화될 때 (-)구면굴절력이 증가한 경우는 17안(28.3%), (+)구면굴절력이 증가한 경우는 10안(16.7%), (-)원주굴절력이 증가한 경우는 17안(28.8%), (-)원주굴절력이 감소한 경우는 9안(15.3%), 그리고 난시축이 변화한 경우는 36안(62.1%)이었다. 각막지형측정에서 나타난 peak data 분석 결과 각막 주경선의 변화는 4가지 형태로 분류되었다. **결론:** 동공확대에 따른 각막굴절면 확장은 각막의 고유한 형태로 인해 자각적굴절 검사값을 변화시키는 요인으로 작용하므로, 자각적굴절검사는 주된 생활환경에 맞는 조도조건에서 실시하여야 한다.

주제어: 동공크기, 각막형태, 굴절교정값

서 론

안경원 현장에 설치되어 있는 검사실의 환경을 살펴보면, 검사거리, 시표의 종류, 그리고 검사실 조도환경이 다양하게 구성되어 있다. 굴절검사에 있어서 검사실의 환경은 굴절검사값의 변화를 줄 수 있는 요인이 되는데,^[1] 특히 검사실 조도는 동공의 크기에 영향을 주게 되어 굴절교정값의 편차를 발생시킬 수 있다. 그러나 아직 자각적굴절검사를 위한 적합한 검사실 조도는 정상적인 동공과 망막적응이 유지되는 수준이어야 한다고 할 뿐 표준화되어 있지는 않고, 시표의 조도 또한 100~200 lx 정도로만 권장되고 있다.^[2] 만일 검사실 조도가 50 lx 이하일 경우와 같이 동공이 확대됨으로 인해 수차가 발생하면 굴절교정값은 더 근시인 값으로 검사된다.^[3,4] 또한, 검사실 조도의 감소는 시표의 대비감도를 저하시켜 시력을 감소시키게 된다.^[5,6] Kim과 Cho의 이전 연구에서^[7] 대비도 100%의 란돌트시표를 이용한 시력검사를 실시하고, 개인별 식별 능력 차이를 고려하여 시력 1.0을 식별할 수 있는 검사실의 최소 조도 상태를 분석한 결과 약 100 lx가 되어야 하는 것으로 나타났다. 하지만 자각적굴절검사를 위한 적합한 검사실 조도를 제시하기는 어려웠다. KS A 3011 산업 표준 조도기준에 활동유형에 따라 조도를 11단계로 분류

(3~15,000 lx)하고 있듯이 실제 생활환경은 다양한 조도조건으로 이루어져 있다. 따라서 안경원 현장에서 모든 생활 조도 환경을 고려한 표준화된 검사실 조도를 설정하는 것은 불가능하지만, 검사실 조도환경과 활동 조도환경이 차이가 클 경우 교정시력의 불편함이 발생할 수 있다는 것을 반드시 고려해야 할 것이다.

본 연구에서는 조도조건이 다를 때 발생하는 자각적굴절검사값 변화에 있어서 수차에 기인한 변화와는 달리 각막굴절면의 고유한 형태가 한 요인으로 작용할 것으로 예상하고, 검사실 조도조건으로 동공의 크기차이를 유발시킨 다음, 각막굴절면이 달라질 때 나타나는 자각적굴절교정값 차이를 분석하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구취지에 동의한 평균연령 23.33 ± 1.78 세의 30명(남자 16명, 여자 14명)을 대상으로 검사를 실시하였다. 전체 대상자들의 구면 굴절력 범위는 $-0.25 D \sim -11.00 D$, 난시 굴절력 범위는 $PL \sim -3.75 D$ 였다. 그리고 대상자들은 단안 교정시력 0.9 이상이고, 문진을 통해 질환과 관련된 약물복용이나 과거병력이 없는 경우로만 제한하였다.

*Corresponding author: Hyun Gug Cho, TEL: +82-33-540-3411, E-mail: hyung@kangwon.ac.kr



Fig. 1. Photograph for measuring pupillary diameter.

2. 검사와 통계분석

자각적굴절검사는 조도조절이 가능한 검사실에서 포롭터(Ultramatic RX Master, Reichert, USA)와 5 m 거리용 LCD 시력표(LUCID'LC, Everview, Korea)를 사용하였으며, 각막형상의 측정은 각막지형측정기(Keratograph, Oculus, USA)로, 동공크기 측정은 디지털카메라(EOS-7D, Canon, Japan)로, 그리고 조도측정은 0~32,000 lx 측정범위의 조도계(Testo 545, Germany)를 사용하였다.

자각적굴절검사는 검사실 정중앙에서 천정방향, 시표방향, 그리고 포롭터방향으로 측정한 평균조도 2 lx와 760 lx의 두 조건에서 실시하였다. 피검자지는 검사 전 2 lx에서 10분, 760 lx에서 5분간 적응하도록 하였다. 검사는 2 lx 조건에서 먼저 실시한 후 760 lx 조건에서 실시하였다. 자각적굴절검사는 단안 운무상태에서 십자시표를 이용한 난시검사, 크로스실린더를 이용한 난시정밀검사, 그리고 최대구면 최대시력을 이용한 끝점검사를 실시하여 완전교정 하였다. 검사 후 카메라 플래쉬에 적색 필터를 부착하고 피검자의 눈꺼풀아래에 눈금자를 댄 다음, 피검자로 하여금 카메라 뒤쪽 5 m 거리에 부착된 표식을 바라보도록 하여 촬영한 후 화면을 확대하여 동공크기를 측정하였다 (Fig. 1). 그리고 각막지형측정기를 이용하여 피검자의 각막을 촬영하고 peak data를 이용하여 각막면의 영역별 주경선 변화를 분석하였다.

통계분석은 구면 굴절력, 원주굴절력과 축, 동공크기, 그리고 및 난시 교정축 변화를 분석하였다(SPSS for Windows, ver. 20.0).

결 과

1. 검사실 조도조건에 따른 동공크기의 변화

검사실 조도 760 lx와 2 lx일 때 피검자들의 동공크기 변화를 측정한 결과는 Table 1과 같다. 동공크기의 평균은 검사실 조도 760 lx 일 때 3.87 ± 0.50 mm(최소 3.74 mm,

Table 1. Pupillary diameters in two room illuminances of 760 lx and 2 lx

| | | Room illuminance | |
|--------------------------|---------------|------------------|-----------------|
| | | 760 lx | 2 lx |
| Pupillary diameters (mm) | Mean \pm SD | 3.87 ± 0.50 | 5.71 ± 0.73 |
| | Min.~Max. | 3.74~4.00 | 5.52~5.90 |

Table 2. Distribution of the eyes having difference of refractive error in room illuminance of 2 lx compared to that of 760 lx

| Change Power (D) | Distribution (number of eyes) | | |
|------------------|-------------------------------|-------------|----------------------|
| | Spherical | Cylindrical | Spherical equivalent |
| -0.75 | 1 (1.7%) | - | 1 (1.7%) |
| -0.50 | 4 (6.7%) | 3 (5.1%) | 5 (8.3%) |
| -0.25 | 12 (20%) | 14 (23.7%) | 18 (30%) |
| None | 33 (55%) | 34 (57.6%) | 24 (40%) |
| +0.25 | 9 (15%) | 9 (15.3%) | 11 (18.3%) |
| +0.50 | 1 (1.7%) | - | 1 (1.7%) |

최대 4.0 mm), 2 lx 일 때 5.71 ± 0.73 mm(최소 5.52 mm, 최대 5.90 mm)로 측정되었다.

2. 검사실 조도조건에 따른 굴절이상도의 변화

검사실 조도 760 lx에서의 완전교정값을 기준으로 검사실 조도 2 lx에서의 구면굴절력값과 원주굴절력값의 변화를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 구면굴절력의 경우 변화가 없는 비율은 33안(55%)으로 나타났고, 17안(28.3%)은 근시도가 증가되었으며, 10안(16.7%)은 근시도가 감소되었다. 근시도가 증가된 17안 중 -0.75 D 증가가 1안, -0.50 D 증가가 4안, 그리고 -0.25 D 증가는 12안이었다. 근시도가 감소된 10안 중 +0.25 D 감소는 9안이었고 +0.50 D 감소는 1안이었다. 원주굴절력의 경우 변화가 없는 비율은 난시가 없는 2안을 제외한 58안 중 34안(57.6%)으로 나타났고, 17안(28.8%)은 난시도가 증가되었으며 9안(15.3%)은 난시도가 감소되었다. 난시도가 증가한 17안 중 -0.50 D 증가는 3안, -0.25 D 증가는 14안, 그리고 난시도 +0.25 D 감소된 경우는 9안이었다. 등가구면 굴절력을 기준으로 변화가 없는 비율은 24안(40%)으로 나타났고, 굴절력이 증가한 경우는 -0.75 D 1안(1.7%),

Table 3. Distribution of the eyes having difference of cylindrical axis in room illuminance of 2 lx compared to that of 760 lx

| Cylindrical power (D) | Change of cylindrical axis | | | | Rate of change |
|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------|-------------|------------------|
| | 0° | 5° | 10° | 15° | |
| 0.25~0.75 | 2 (3.5%) | 3 (5.2%) | 3 (5.2%) | 2 (3.5%) | 8/10 (80.0%) |
| 1.00~1.75 | 10 (17.2%) | 9 (15.5%) | 6 (10.4%) | 1 (1.7%) | 16/26 (61.5%) |
| 2.00~2.75 | 8 (13.8%) | 5 (8.6%) | 1 (1.7%) | 1 (1.7%) | 7/15 (46.7%) |
| 3.00~3.75 | 2 (3.5%) | 5 (8.6%) | - | - | 5/7 (71.4%) |
| Total | 22 (37.9%) | 22 (37.9%) | 10 (17.2%) | 4 (6.8%) | 36/58 (62.1%) |

-0.50 D 5안(8.3%), -0.25 D 18안(30.0%)의 총 24안 굴절력이 감소한 경우는 +0.25 D 11안(18.3%), +0.50 D 1안(1.7%)으로 총 12안이었다.

3. 검사실 조도조건에 따른 교정 난시축의 변화

검사실 조도 760 lx에서의 완전교정값을 기준으로 검사실 조도 2 lx에서 교정된 난시축의 변화를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 난시가 없는 2안을 제외한 58안 중 난시축의 변화가 발생하지 않은 경우는 22안(37.9%)이었고, 5° 변화된 경우가 22안(37.9%), 10° 변화된 경우가 10안(17.2%), 그리고 15° 변화된 경우가 4안(6.8%)으로 총 36안(62.1%)이었다. 검사실 조도 760 lx에서 0.25~0.75 D의 난시도가 있는 경우 난시축 변화가 나타난 경우는 10안 중 8안(80.0%)이었고, 1.00~1.75 D는 26안 중 16안(61.5%), 2.00~2.75 D는 15안 중 7안(46.7%), 그리고 3.00~3.75 D는 7안 중 5안(71.4%)이었다.

4. 각막지형의 분석

각막지형측정기로 촬영한 각막형상을 peak data를 통해 분석하고 각막형상의 유형을 4가지로 구분하였다(Fig. 2). Peak data는 각막의 중심으로부터 링 형태의 직경 3 mm,

5 mm, 그리고 7 mm 영역으로 나누어 주경선의 방향이 표시된다. Type I은 세 영역에서 주경선의 방향이 일치하는 십자형이었다. Type II는 3 mm 영역을 기준으로 5 mm와 7 mm 영역에서 두 주경선이 동일한 방향으로 규칙적으로 변화하는 규칙변화형이었다. Type III은 3 mm 영역을 기준으로 5 mm, 7 mm 영역으로 갈수록 두 주경선이 반대방향으로 변화하는 V자변화형이었다. Type IV은 3 mm 영역에서 5 mm, 7 mm 영역으로 갈수록 두 주경선의 변화가 규칙성이 없는 불규칙변화형이었다.

고 찰

굴절검사를 통해 최적으로 교정된 시력이라 하더라도 주변조도에 따라 시력변화의 개인차가 나타나게 된다. 그 대표적인 현상으로 야간근시는 낮은 조도환경에서 근시도가 증가되는 것으로, 조절력의 증가,^{8,9)} 색수차의 변화,¹⁰⁾ 그리고 푸르키네 현상¹¹⁾ 등이 근시도 증가의 원인이 된다고 하였다. 하지만 낮은 조도에서 동공확장과 동반되어 각막굴절면의 크기가 증가될 때 각막 고유의 형태에 따라 굴절검사값이 어떻게 달라지는지에 대해 언급한 사례는 없다. 본 연구에서는 명소시 환경에서 측정된 굴절이상 완전교정값을 기준으로 암소시 환경에서 측정된 완전교정값의 변화를 분석하여, 각 각막이 갖는 고유한 형태가 이러한 변화를 일으키는 원인으로 작용하는지 알아보았다.

한국의 기준조도표에 의하면 보통작업의 조도범위를 500-750-1,000 lx로 규정하고 있어서¹²⁾ 본 연구에서 명소시 조도를 760 lx로 하였고, 암소시 조도는 2 lx로 하였다. Han 등¹³⁾은 조도 800 lx일 때 동공의 평균크기는 4.01 mm이고, 100 lx 일 때 6.02 mm로 측정된다고 하였는데, 본 결과에서는 760 lx에서 3.87 mm, 2 lx에서 5.71 mm로 나타났다. 이러한 결과는 각막지형측정기의 peak data가 각막중심으로부터 링 형태의 3 mm, 5 mm, 그리고 7 mm 영역으로 구분하는 것으로 보아 각막의 굴절은 760 lx 조건에서는 3 mm 영역, 2 lx 조건에서는 5 mm 영역의 각막지형에 영향을 받는 것으로 판단되었다. 검사를 실시한 60안의 각막 지형을 분석해 보았을 때, 각막면의 주경선이 변화하는

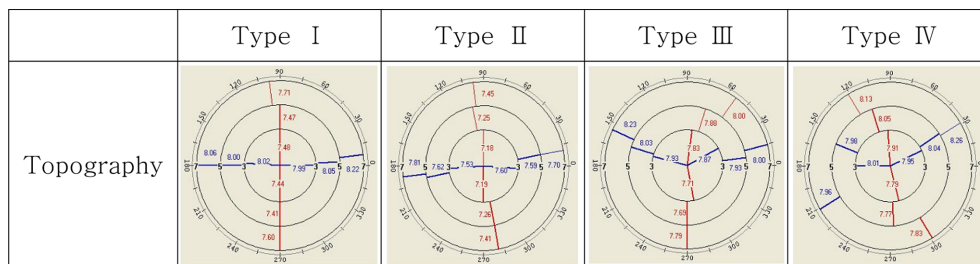


Fig. 2. Four types of corneal shape by topography. Each diameter of three circles is 3, 5, and 7 mm. Most of corneas have not in alignment of principal meridians.

패턴은 4가지로 구분할 수 있었다. 그 유형은 3, 5, 7 mm 영역의 주경선 방향이 거의 일치하는 십자형(type I), 3 mm 영역으로부터 5 mm 영역과 7 mm 영역으로 갈수록 두 주경선이 시계방향 혹은 반시계방향으로 일정한 크기 만큼 이동하는 규칙변화형(type II), 3 mm 영역으로부터 5 mm 영역과 7 mm 영역으로 갈수록 두 주경선이 반대방향으로 이동하는 V자변화형(type III), 그리고 두 주경선의 변화가 불규칙한 불규칙변화형(type IV)으로 구분할 수 있었다. 이처럼 이론과는 달리 각막은 주경선의 방향이 영역 별로 일치하지 않는 경우가 많으며, 각막곡률 또한 영역별로 다른 경우가 많아 동공확대에 따른 각막굴절면의 확장은 굴절교정값에 변화를 줄 것이라고 예상되었다. 이러한 예상을 토대로 760 lx에서의 완전교정값을 기준으로 2 lx에서 변화된 완전교정값을 비교해 본 결과, 조도의 감소로 인해 구면굴절력은 60안 중 27안, 원주굴절력은 58안 중 26안, 그리고 난시축의 방향은 58안 중 36안이 차이를 보이는 것으로 나타났다. 구체적으로 구면굴절력은 -0.25 D ~ -0.75 D의 근시가 증가된 경우는 17안(28.4%), $+0.25$ D ~ $+0.50$ D의 근시도가 감소된 경우도 10안(16.7%)이었다. 원주굴절력은 -0.25 D ~ -0.50 D의 난시가 증가된 경우는 17안(28.8%), $+0.25$ D의 난시가 감소된 경우는 9안(15.3%)이었다. 난시축은 변화가 없는 경우가 22안(37.9%) 이었고, 36안(62.1%)이 5° ~ 15° 의 축 변화를 보였다. 5° 의 축 변화를 보인 경우가 22안(37.9%)으로 가장 많았고, 10° 변화가 10안(17.2%), 15° 변화를 보인 경우도 4안(6.8%)이 있었다. 이러한 결과는 임상적으로 시력저하의 증상으로 나타나는데, 타 연구에 의하면 구면굴절력 0.25 D의 저교정은 시력표 한 줄의 시력감소를 보이고,^[13] 원주굴절력 0.25 D와 0.50 D의 저교정은 시력 1.047을 각각 0.914와 0.772로 감소시키며,^[14] 난시 교정축이 5° , 10° , 15° 이탈되면 시력 1.05는 각각 0.94, 0.87, 0.79로 저하된다고 하였다.^[15] 또한 본 결과에서는 암소시 동공크기의 증가로 근시도의 증가^[8-11] 뿐만 아니라 근시도를 감소시키는 비율도 높은 것으로 나타나 동공확대에 따른 각막굴절면의 확장은 주경선과 곡률의 변화에 영향을 받게되어 전체 굴절교정값 변화에 큰 영향을 끼치는 것으로 판단되었다.

이러한 결과들로 볼 때, 안경원 임상실무에서 특별한 조도환경에서 활동하는 피검자가 아니라면, 자각적굴절검사를 위한 검사실 조도를 보통작업에 권장되는 500~1,000 lx로 설정하는 것이 교정 후 환경변화에 따른 시력변화의 불편함을 최소화할 수 있을 것이다.

결 론

검사실 조도 차이에 따라 동공의 크기가 변화되어 각막

굴절면의 크기가 달라진다. 각막굴절면의 크기가 달라질 때, 각막면의 형태변화에 따라 교정 구면굴절력, 원주굴절력, 그리고 난시축이 변화될 수 있다. 따라서 자각적굴절검사를 위한 검사실 조도는 특별한 경우를 제외하고 보통작업에 권장되는 500~1,000 lx로 설정되어야만 교정 후 환경변화에 따른 시력변화를 최소화할 수 있다.

감사의 글

“2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-220140143)”.

REFERENCES

- [1] Han SH, Kim BH, Yoon JH, Lee SE, Park SM, Jeong, et al. Change in the eye's refractive power and pupil's size following intensity of illumination using Auto Ref-Keratometer. *J Korean Vis Sci.* 2013;15(1):1-7.
- [2] Michaels DM. Subjective methods of refraction. In Michaels DM (Ed), *Visual Optics and Refraction*, 3rd Ed. St. Louis: CV Mosby. 1985;316-334.
- [3] Ivanoff A. About the spherical aberration of the eye. *J Opt Soc Am.* 1956;46(10):901-903.
- [4] Howarth PA, Bradiey A. The longitudinal chromatic aberration of the eye and its correction. *Vision Res.* 1986;26(2):361-366.
- [5] Rabin J. Luminance effects on visual acuity and small letter contrast sensitivity. *Optom Vis Sci.* 1994;71(11):685-688.
- [6] Lee EJ, Yoon MJ, Kim SH, Yang GT, Jeong JH, Kim HJ, et al. Changes of contrast sensitivity with decreasing luminance in photopic conditions. *J Korean Ophthalmic Optics Soc.* 2012;17(4):411-417.
- [7] Kim SY, Cho HG. Minimal illumination to identify the chart in each visual acuity and deviation of identification capability according to illumination and chart contrast. *J Korean Ophthalmic Optics Soc.* 2013;18(4):549-554.
- [8] Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Hung GK, Gilmartin B. Tonic accommodation: A review. I. Basic aspects. *Ophthal Physiol Opt.* 1993;13:266-284.
- [9] Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Hung GK, Gilmartin B. Tonic accommodation: A review. II. Accommodative adaptation and clinical aspects. *Ophthal Physiol Opt.* 1994;14(3):265-277.
- [10] Jenkins TCA. Aberrations of the eye and their effects on vision: Part II. *Br J Phys Opt.* 1963;161-201.
- [11] Le Grand Y. *Form and Space Vision* (translated by Milodot M, Heath GG), rev ed. Bloomington : Indiana University Press. 1967.
- [12] Chee CK, Kang WG, Kim CS. The survey on the design standard for the illumination level. *Proceeding of KIEE.* 1988;2(3):59-66.

- [13] Smith G. Relation between spherical refractive error and visual acuity. *Opt Vis Sci.* 1991;68(8):591-598.
- [14] Kim JH, Kim IS. A study on the relationship between the disc of least confusion and corrected vision of astigmatism. *J Korean Ophthalmic Optics Soc.* 2008;13(2):51-57.
- [15] Kim JH, Kang SA. A study on the relationship between the off-axis cylinder and corrected vision of astigmatism. *J Korean Ophthalmic Optics Soc.* 2007;12(3):83-87.

Changes of Refractive Errors Caused by Corneal Shape and Pupil Size

Yeon Soo Noh, Sang-Yeob Kim, Byeong-Yeon Moon, and Hyun Gug Cho*

Dept. of Optometry, Kangwon National University, Samcheok 245-907, Korea

(Received August 1, 2014; Revised September 2, 2014; Accepted September 18, 2014)

Purpose: To investigate the effect of corneal unique shape to changes of refractive full corrections when pupil size changes. **Methods:** Subjective refraction for monocular full correction was performed to 30 subjects (23.33±1.78 of age, 60 eyes) in two room conditions, 760 lx and 2 lx, respectively. Pupillary diameter was measured in two conditions and the change pattern was analyzed using a peak data of corneal topography. **Results:** Pupillary diameter was 3.74~4.00 mm in 760 lx and 5.52~5.90 mm in 2 lx. By comparison with refractive data in 760 lx, those data in 2 lx was changed as follows: more (-) spherical power of 17 eyes (28.3%), more (+) spherical power of 10 eyes (17.7%), more (-) cylindrical power of 17 eyes (28.8%), less (-) cylindrical power of 9 eyes (15.3%), and astigmatic axis rotation of 36 eyes (62.1%). From peak data of corneal topography, the changing pattern of two principal meridians was classified into 4 types. **Conclusions:** Expansion of the corneal refractive surface accompanied with pupillary dilation may be a main factor that effects the changing a values of subjective refraction because of unique corneal shape. Therefore, subjective refraction should be performed under the nearest lighting condition to a main living environment.

Key words: Pupil diameter, Corneal shape, Refractive correction