

외사시와 정상 소아 환자에서 펜타캠을 이용한 람다각의 측정

Measurement of Angle Lambda Using Pentacam in Normal and Exotropic Children

성영제 · 남상민 · 유혜린

Young Je Sung, MD, Sang Min Nam, MD, Helen Lew, MD

차의과학대학교 분당차병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, CHA Bundang Medical Center, CHA University School of Medicine, Seongnam, Korea

Purpose: We measured angle lambda in normal and exotropic patients using Pentacam HR (Oculus, Wetzler, Germany). The relationship between angle lambda and refractive error was analyzed in the present study.

Methods: From December, 2013 to August, 2014, 135 eyes of 135 individuals under 16 years of age were enrolled in this study. Pentacam measures a distance between the center of the pupil and the corneal reflex point. The distance was converted to the angle lambda using the second law of cosines. All statistical analyses were performed using SPSS for Windows, version 21.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). The differences among the groups when measuring angle lambda were calculated using independent *t*-test, Mann-Whitney test and analysis of variance (ANOVA). Pearson's correlation test was used to analyze the correlation among the variables.

Results: The mean age was 7.60 ± 3.68 years. Mean angle lambda values of the normal and exotropia groups were $4.41 \pm 2.23^\circ$ and $4.92 \pm 2.58^\circ$, respectively. To evaluate the association of angle lambda and refraction measures, individuals were further classified according to the degree of myopia and hyperopia. The angle lambda values in the 3 groups according to refraction status (myopic, emmetropic and hyperopic) were $3.95 \pm 2.16^\circ$, $4.84 \pm 2.62^\circ$ and $5.30 \pm 2.35^\circ$, respectively. A positive correlation was observed between angle lambda and spherical equivalent (correlation coefficient = 0.341, $p < 0.001$). A significant negative correlation was observed between angle lambda and age (correlation coefficient = -0.181, $p = 0.036$). There was a negative correlation between axial length and angle lambda (correlation coefficient = -0.469, $p = 0.003$).

Conclusions: The results in this study were in agreement with the results from previous studies. Measuring the distance between the centers of the pupil and the point of corneal reflection using Pentacam is recommended as a quick, objective, quantitative and reproducible method to measure the angle lambda in children.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(8):1263-1267

Key Words: Angle lambda, Exotropia, Pentacam

■ Received: 2014. 9. 27. ■ Revised: 2015. 3. 19.

■ Accepted: 2015. 3. 20.

■ Address reprint requests to **Helen Lew, MD**

Department of Ophthalmology, CHA Bundang Medical Center,
#59 Yatap-ro, Bundang-gu, Seongnam 463-712, Korea
Tel: 82-31-780-5330, Fax: 82-31-780-5333
E-mail: eye@cha.ac.kr

* This study was presented as a poster at the 111th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2014.

우리가 어떤 물체를 주시할 때 물체에 반사된 빛은 각막을 통과한 뒤, 각막을 통해 굴절되어 보이는 동공(입사동공[entrance pupil])의 중심을 거쳐 황반부에 도달하게 된다. 이 직선은 시선(Line of sight)으로 정의되며, 각막표면의 한 점을 수직으로 지나 입사동의 중심(Center of Entrance Pupil)에 이르는 직선은 동공축(Pupillary axis)으로 정의된다. Lancaster는 이 시선과 동공축이 이루는 각을 람다각으로 정의하였다.¹⁻³ 이는 우리가 물체를 주시할 때, 주된 시기

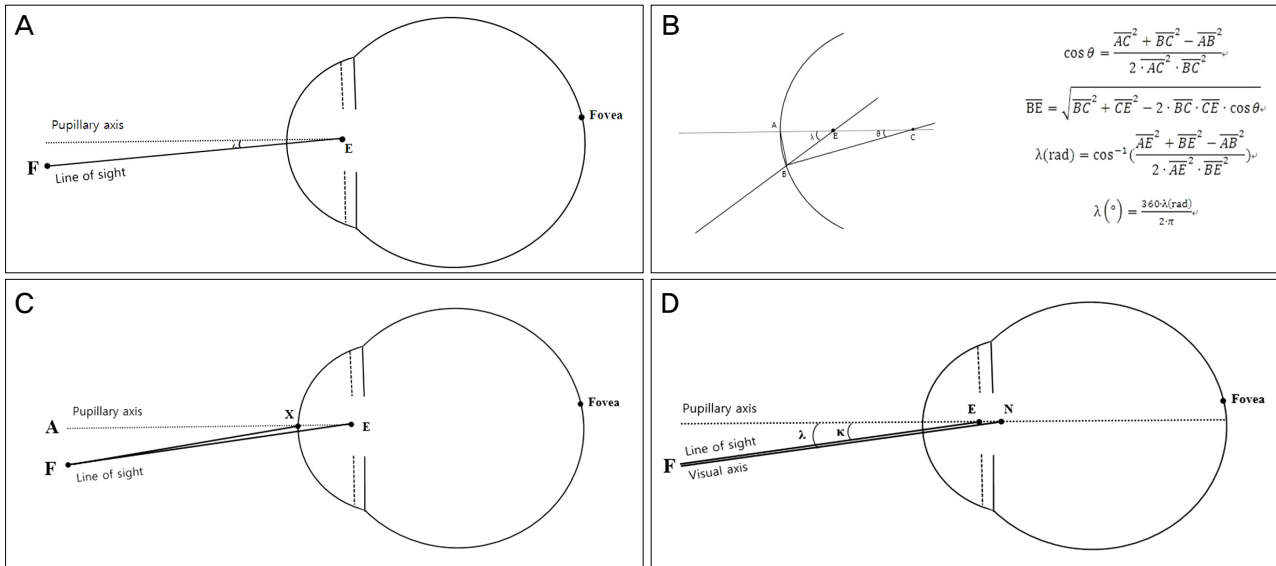


Figure 1. Schematic representation of the components of angle lambda. (A) Definition of angle lambda. (B) Schematic diagram showing the geometrical model used to determine the angle Lambda and Calculation of angle lambda. (C) Angle Kappa, as measured clinically (AXF). (D) Angle lambda and angle kappa. F = fixation point; λ = angle lambda; E = center of Entrance of pupil; C = center of curvature of the cornea; A = end of extension line of the pupillary axis; X = point of the cornea that lies in the central pupillary line; K = angle kappa; N = nodal point.

능을 담당하는 황반부가 안구 후극의 중심에 있지 않고 이 측으로 치우쳐 있는 해부학적 구조를 반영하는 것이라 할 수 있으며, 람다각은 사시 여부와 알비니즘을 진단하는 데 유용한 지표이다. 또한 각막 수차를 계산하는 기구들의 축 어긋남(misalignment)을 판단하는 데 좋은 지표로 알려져 있다.³

Landolt의 원래 정의(Original definition)에 따르면 카파각은 시축과 동공축이 이루는 각이다.⁴ 시축은 주시점에서 결점(nodal point)을 지나 중심와에 이르는 비연속 직선(Broken line)으로 정의된다.² 하지만 임상적으로 결점은 측정할 수 없는 점으로, Landolt의 정의에 따른 카파각은 임상적으로 측정하기 어렵다(Fig. 1A).⁵ 이에 Le Grand and El Hage⁶는 카파각을 Lancaster의 람다각 정의와 같은 각으로 재정의하였다. 또한 그는 실제로 카파각과 람다각은 그 크기가 거의 같기 때문에 아주 가까운 곳에 주시점이 있는 경우가 아니라면 이 두 각을 구분할 필요는 없다고 하였다.⁶ 즉 현재 임상적으로 측정하고 있는 카파각은 Landolt의 원래 정의가 아닌 Le Grand and El Hage⁶가 재정의한 정의에 입각해 측정되고 있는 것이다. 이후 이 두 각은 여러 문헌들에서 혼동되어 사용되어 왔다.^{3,5} 본 연구에서는 측정값을 람다각으로 통일하여 기술하였다.

카파각과 람다각은 나이, 성별, 굴절이상 정도, 사시 등에 영향을 받는다.^{1,7,9} Hashemi et al⁷은 Orbscan II (Orbtek Inc, Bausch & Lomb, Rochester, NY, USA)를 이용하여 14세 이상의 정상인에서 카파각이 평균 $5.46 \pm 1.33^\circ$ 임을 밝

혔다.⁷ Basmak et al¹은 Orbscan II를 이용한 카파각의 측정값과 대략시경을 이용한 측정값이 모두 근시안에서 가장 작고 원시안에서 가장 크다는 것을 밝히고, 근시안에서는 카파각이 음의 굴절값이 커짐에 따라 감소하는 반면, 원시안에서는 큰 양의 카파각이 양의 굴절값과 유의한 상관관계에 있음을 보고하였다.

전통적으로 람다각은 피검자가 특정물체(광원)를 주시할 때 각막반사점의 위치와 동공중심 간의 거리로부터 계산하였다. 대략시경, 세극등현미경, 비디오사진분석 등이 이의 계산에 이용되어 왔으며, 대략시경은 임상적으로 가장 널리 쓰이는 람다각 측정도구였다.⁹⁻¹¹ 하지만 각막반사법을 이용한 이러한 방법들은 Fig. 1C에서 AXF 각을 측정하는 것으로 실제로 정의된 람다각인 AEF와는 차이가 있다.

최근에는 Orbscan II, VU topographer (VU University Medical center, Amsterdam, Netherlands) 등 각막지형도를 이용한 카파각과 람다각의 측정 방법이 새롭게 보고된 바 있다.^{1,3,7} 이러한 방법들은 첫 번째 푸르킨에영상(the first Purkinje image)과 동공 중심 간의 거리를 이용하여 람다각을 계산하는 방법으로 특히 Orbscan II의 경우 내장된 프로그램이 카파각을 계산해 준다.^{2,11} 하지만 이 방법들은 협조가 잘 되지 않는 소아에서는 측정이 어렵고 재현성이 떨어진다는 단점이 있다.

Orbscan II는 세극등을 이용한 이미지에 기초하여 홍채의 기울어짐을 측정하고 이에 기초하여 내재된 프로그램으로 카파각을 측정하는 반면,³ 펜타캠 (Oculus, Wetzlar Germany)

은 세극등형태의 빔이 회전하며 2초간 100장의 사임플러그 이미지를 촬영하여 전안부 형태를 재구성하는 시스템으로, 단안으로 광원을 주시할 때 동공 중심과 각막반사점을 측정하고 이 두 점 간의 거리를 보다 정확히 측정할 수 있다.¹² 이와 같이 각막반사점 간의 거리를 이용하여 람다각을 추론하는 방법은 기존 연구들을 통해 보고된 바 있고,⁹⁻¹¹ Orbiscan II 등의 각막지형도를 이용한 람다각 연구도 기존에 보고되었다.^{1,3,7} 하지만 아직 펜타캠의 각막반사점 간 거리를 이용하여 람다각을 계산한 방법은 보고된 적이 없고, 현재까지 펜타캠에는 Orbiscan II와 같이 자동으로 람다각을 계산해 주는 프로그램이 내장되어 있지 않다. 이에 근거하여 저자들은 펜타캠을 이용하여 소아에서 람다각을 계산하는 방법과 이 측정 결과의 타당성에 대해 연구하였다.

대상과 방법

16세 이하 135명의 환아(남자 70명, 여자 65명)의 135안을 대상으로 연구하였다. 각 대상 소아당 한쪽 눈만이 연구 대상으로 포함되었다. 평균 나이는 7.47 ± 3.64 세(범위: 2세-16세)였다(Table 1). 모든 환아에서 최대교정시력 측정, 세극등현미경 검사, 조절마비 혹은 현성 굴절검사, 외안근운동 검사, 프리즘을 이용한 교대가림 검사, 펜타캠을 이용한 전안부 검사, 안저촬영을 포함하는 안과적 검사를 시행하였다. 환자들은 정상군(70안)과 외사시군(65안)으로 구분되었다. 외사시군은 10 프리즘디옵터 이상의 사시각을 가지는 환아들이었다. 이들은 구면대응치(Spherical equivalent, S.E)에 따라 근시군($S.E \leq -0.50$ Diopter [D]), 정시군(37안, $-0.50 \text{ D} < S.E < +0.50 \text{ D}$), 원시군(46안, $S.E \geq +0.50 \text{ D}$)으로 분류되었다.¹ 펜타캠은 해부학적인 동공중심과 광원에서 나온 빛이 각막표면을 통과하는 점을 측정하고 이 두 점 사이의 거리를 계산할 수 있다.¹² 저자들은 이 거리를 Uozato and Guyton²의 연구에서 모형을 이용한 가정을 이용하여, 각막전면에서 동공 입사동(entrance pupil)까지의 거리를 3.05 mm로, 각막구면중심(Center of Curvature of the cornea)까지의 거리를 7.8 mm로 가정하고, 코사인 제2 법

칙을 통해 동공중심에서부터 각막반사점까지의 거리를 이용하여 람다각을 추정하였다(Fig. 1). 모든 통계적 분석은 SPSS for windows 21.0 버전(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 시행하였고 통계적인 유의수준은 0.05로 하였다. 변수들은 짝을 이룬 *t*-검정, Mann-Whitney 검정, analysis of variance (ANOVA), Pearson 상관분석을 이용하여 분석하였다.

결 과

정상군은 평균 연령 7.87 ± 3.66 세, 외사시군은 7.31 ± 3.71 세였다. 외사시군의 사시각은 평균 22.90 ± 9.83 프리즘디옵터(Δ)였다. 구면대응치는 정상군에서 $-0.64 \pm 2.69 \text{ D}$, 외사시군에서 $-0.11 \pm 2.00 \text{ D}$, 안축장은 정상군에서 $23.13 \pm 1.80 \text{ mm}$, $22.95 \pm 1.60 \text{ mm}$ 로 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 저자들의 방법으로 계산한 람다각은 정상군에서 평균 $4.41 \pm 2.23^\circ$, 외사시군에서 $4.92 \pm 2.58^\circ$ 로 통계학적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.217$, Independent *t*-test)(Table 1). 람다각과 굴절값의 관계를 알아보기 위해 대상을 구면대응치에 따라 근시, 정시, 원시군으로 구분하였을 때, 각각의 군에서 평균 람다각은 $3.95 \pm 2.16^\circ$, $4.84 \pm 2.62^\circ$, $5.30 \pm 2.35^\circ$ 로 세 군 간에 유의한 차이를 보였고($p=0.018$, ANOVA), 그 크기는 근시안, 정시안, 원시안 순서로 증가하였다. 람다각과 구면대응치는 양의 상관관계를 보였고(상관계수 $=0.341$, $p<0.001$), 연령과 안축장은 통계적으로 유의한 양의 상관관계(상관계수 $=0.592$, $p<0.001$), 연령과 람다각, 안축장과 람다각은 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 보였다(상관계수 $=-0.181$, $p=0.036$, 상관계수 $=-0.469$, $p=0.003$)(Fig. 2).

고 찰

문헌고찰에 따르면 평균 연령 27.3세인 62명의 환자에서 세극등현미경을 이용하여 측정한 카파각은 평균 3.12° , 대약시경을 이용한 측정값은 평균 2.85° , T 형태의 자를 이용한 방법으로 측정한 값은 평균 3.04° , 14세 이상의 정상인

Table 1. Demographic characteristics of the study groups

	Normal controls	Exotropia	<i>p</i> -value
Number	70	65	
Sex (male:female)	35:35	35:30	
Mean age (years)	7.87 ± 3.66	7.31 ± 3.71	0.376
Angle lambda ($^\circ$)	4.41 ± 2.23	4.92 ± 2.58	0.217
Mean deviation angle (Δ)	-	22.90 ± 9.83	-
Mean spherical equivalent (D)	-0.64 ± 2.69	-0.11 ± 2.00	0.199
Mean axial length (mm)	23.13 ± 1.80	22.95 ± 1.60	0.748

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.

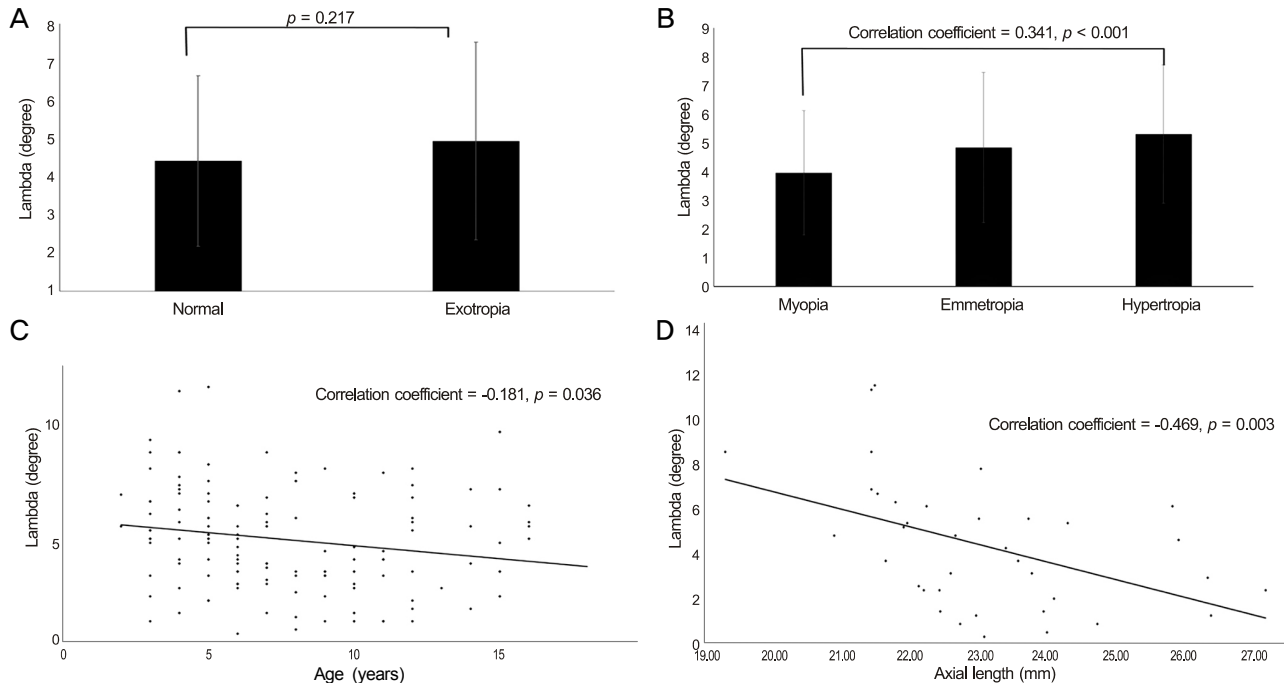


Figure 2. Clinical correlations of angle lambda and clinical factors. Exotropia (A), refractive errors (B), age (C), and axial length (D).

에서 Orbscan II로 측정된 값은 평균 5.46° 로 보고된 바 있다.^{7,9} 또한 London and Wick⁵의 연구에 따르면 출생 시에 람다각은 7.88° , 성인에서는 5.08° 였다.

저자들의 연구는 다음의 몇 가지 가정하에 이루어졌다. 첫째, 각막이 완전히 구형이라는 가정, 둘째, 각막전면으로부터 동공 입사동(entrance pupil)까지의 거리는 3.05 mm, 각막구면중심까지 거리는 7.8 mm라는 가정이다.²

본 연구에서 저자들의 방법으로 계산한 람다각은 기존에 보고된 값들에 비해 작게 나타났다. 문헌고찰에 따르면 람다각은 연령에 따라 감소하는 것으로 알려져있다.^{5,7,13} 소아는 안구의 크기가 성인에 비해 작기 때문에 Uozato and Guyton²의 방법에서 사용된 모형안에서 각막전면에서 입사동(entrance pupil)까지의 거리 3.05 mm와 각막구면중심까지의 거리 7.8 mm는 16세 미만의 소아들에게 적용하기에는 다소 길었다. 코사인 제2 법칙에서 대변의 길이가 커질수록 대응각의 크기는 작아지므로, 본 연구에서 람다각이 다소 작게 측정된 것으로 보인다. 하지만 London and Wick⁵의 연구에 따르면 그 차이는 크지 않은 것으로 생각되며, 기존 London의 연구에서는 단순히 탄젠트 함수를 이용하여 람다각 추정에 수학적 엄밀성이 떨어지는 것에 비해, 본 연구에서는 코사인 제2 법칙을 두 번 적용하여, 본 연구의 가정하에서는 수학적으로 엄밀한 람다각을 추정하였다고 하겠다. 하지만 근시, 정시, 원시 환아를 모두 포함하는 본 연구는 전방 깊이의 개인차를 고려하지 않고 일률적으로 각막전면에서 동공 입사동(entrance pupil)까지 거리 3.05 mm를

적용하였다는 한계점이 있다.^{5,13} 또 각막은 완전 구형이 아니므로 계산값에 다소 오차가 있을 수 있으며, 동공은 일반적으로 홍채의 중심으로부터 하비측으로 치우쳐져 있어 이 또한 계산값에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.⁵ 또한 펜타캠의 작업거리는 80 mm로, 이 거리에서는 람다각과 카파각 사이에 오차가 있을 것으로 생각되나, 전안부를 가장 잘 관찰할 수 있는 세극등의 형태로 2초간 100장의 샷을 플러그 이미지를 촬영하여 각막반사점을 표현한다는 것은 정확도와 재현성면에서 장점이 있다고 하겠다.¹² 또한 본 연구에서 사용된 두 축의 각막반사점 간 거리는 실제 상이 맺히는 각막 안쪽의 동공입사동의 중심을 고려하여 2차원적으로 측정된 거리이므로(Fig. 1B) 과거 London and Wick⁵가 각막표면의 반사점을 꼭지점으로 가지는 삼각형에서 계산한 것에 비해 람다각을 더 정확하게 계산하였다고 할 수 있다. 그 외 본 연구의 한계점으로 대약시경이나 다른 기존의 각막지형도 방법으로 같은 환자의 람다각을 측정하여 비교하지 못한 것을 들 수 있겠다.

본 연구에서는 원시안에서 근시나 정시안에서보다 람다각이 컸으며, 나이 및 안축장과 람다각 사이에 통계적으로 유의미한 양의 상관관계가 있었다. 본 연구 결과는 각막지형도 Orbscan II를 이용한 방법으로 측정된 연구 결과에 비해 다소 작은 값이지만 통계적으로 유의하게 연령 및 안축장이 증가함에 따라 감소하고, 구면대응치와 양의 상관관계를 가진다는 점에서 기존의 연구 결과와 그 궤를 같이 한다고 할 수 있다. 이는 연령이 증가함에 따라 안축장이 길

어지고, 이에 따라 전방이 깊어지며 각막은 편평해지고, 이에 따라 각막과 동공 입사동(entrance pupil) 간의 거리가 변화하게 되기 때문이다. 즉 안축장이 짧은 원시안에서는 이 거리가 짧아 람다각이 커지게 되는 것으로 알려져 있다.^{5,13}

결론적으로 펜타캠을 이용한 람다각의 측정은 임상적으로 유용한 람다각 측정의 또 다른 객관적이고 정량적인 측정 방법이며, 협조가 어려운 소아에서도 빠르고 재현 가능한 검사법으로 추천될 만하다.

REFERENCES

- 1) Basmak H, Sahin A, Yildirim N, et al. Measurement of angle kappa with synoptophore and Orbscan II in a normal population. J Refract Surg 2007;23:456-60.
- 2) Uozato H, Guyton DL. Centering corneal surgical procedures. Am J Ophthalmol 1987;103:264-75.
- 3) Braaf B, van de Watering TC, Spruijt K, et al. Calculating angle lambda (λ) using zernike tilt measurements in specular reflection corneal topography. Journal of Optometry 2009;2:207-14.
- 4) Emsley HH. Visual optics, 1st ed. London: Hatton Press, 1948; 523.
- 5) London R, Wick BC. Changes in angle lambda during growth: theory and clinical applications. Am J Optom Physiol Opt 1982; 59:568-72.
- 6) Le Grand Y, El Hage SG. Physiological optics, 1st ed. Berlin: Springer, 1980; 72.
- 7) Hashemi H, KhabazKhoob M, Yazdani K, et al. Distribution of angle kappa measurements with Orbscan II in a population-based survey. J Refract Surg 2010;26:966-71.
- 8) Choi SR, Kim US. The correlation between angle kappa and ocular biometry in Koreans. Korean J Ophthalmol 2013;27:421-4.
- 9) Hwang BN, Son MH, Won IG. Angle kappa measurement with slit lamp biomicroscope. J Korean Ophthalmol Soc 2002;43:2005-9.
- 10) DeRespinis PA, Naidu E, Brodie SE. Calibration of Hirschberg test photographs under clinical conditions. Ophthalmology 1989;96:944-9.
- 11) Schaeffel F. Kappa and Hirschberg ratio measured with an automated video gaze tracker. Optom Vis Sci 2002;79:329-34.
- 12) Jain R, Grewal S. Pentacam: principle and clinical applications. J Curr Glaucoma Pract 2009;3:20-32.
- 13) Riddell PM, Hainline L, Abramov I. Calibration of the Hirschberg test in human infants. Invest Ophthalmol Vis Sci 1994;35:538-43.

= 국문초록 =

외사시와 정상 소아 환자에서 펜타캠을 이용한 람다각의 측정

목적: 소아 외사시환아와 정상환아에서 펜타캠(Pentacam HR, Oculus, Wetzler, Germany)을 이용하여 람다각을 측정하고 굴절이상과의 관계를 알아보았다.

대상과 방법: 2013년 12월 9일부터 2014년 8월 5일까지 본원 안과에 내원한 16세 미만의 환자 135명의 135안(정상안 70안, 외사시안 65안)을 대상으로 펜타캠을 이용하여 동공중심과 각막반사점 간의 거리를 측정, 코사인 제2 법칙을 이용하여 람다각으로 환산한 결과와 구면대응치, 연령, 안축장 등의 변수를 분석하였다.

결과: 대상 집단은 남자 70명, 여자 65명이고 평균 연령은 7.6 ± 3.7 세였다. 평균 람다각은 $4.66 \pm 2.41^\circ$, 구면대응치는 -0.39 ± 2.39 였다. 정상안과 외사시안으로 분류하였을 때, 람다각은 $4.41 \pm 2.23^\circ$, $4.92 \pm 2.58^\circ$, 구면대응치는 -0.64 ± 2.69 D, -0.11 ± 2.00 D로 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 근시, 정시, 원시안으로 분류하였을 때, 람다각은 $3.95 \pm 2.16^\circ$, $4.84 \pm 2.62^\circ$, $5.30 \pm 2.35^\circ$ 였다. 람다각은 구면대응치와 양의 상관관계를 보였다(상관계수=0.341, $p<0.001$). 연령과 람다각 간에는 음의 상관관계가 있었고(상관계수=-0.181, $p=0.036$), 안축장과 람다각은 음의 상관관계가 있었다(상관계수=-0.469, $p=0.003$).

결론: 펜타캠을 이용한 람다각 측정 결과는 기존의 연구 결과와 일치하는 경향을 보였다. 펜타캠을 통한 람다각 측정은 소아에서 신속하고 재현 가능하며 정량적, 객관적인 방법으로 추천될 수 있겠다.

<대한안과학회지 2015;56(8):1263-1267>