

# 자동동공측정계와 동공측정표를 이용하여 측정한 동공 크기의 비교

## Comparison of Automatic Pupillometer and Pupil Card for Measuring Pupil Size

이택준<sup>1</sup> · 김홍석<sup>2</sup> · 정지원<sup>1</sup> · 이훈<sup>1</sup> · 서경률<sup>1</sup> · 이형근<sup>1</sup> · 김응권<sup>1</sup> · 김태임<sup>1</sup>

Taek June Lee, MD<sup>1</sup>, Hong Seok Kim, MD<sup>2</sup>, Ji Won Jung, MD<sup>1</sup>, Hoon Lee, MD<sup>1</sup>, Kyoung Yul Seo, MD, PhD<sup>1</sup>,  
Hyung Keun Lee, MD<sup>1</sup>, Eung Kweon Kim, MD, PhD<sup>1</sup>, Tae Im Kim, MD, PhD<sup>1</sup>

연세대학교 의과대학 안과학교실 시기능개발 연구소<sup>1</sup>, 실로암안과병원<sup>2</sup>

*The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, Yonsei University College of Medicine<sup>1</sup>, Seoul, Korea  
Siloam Eye Hospital<sup>2</sup>, Seoul, Korea*

**Purpose:** To compare the pupil sizes measured using the automatic pupillometer and pupil card.

**Methods:** We measured pupil sizes using a pupil card (Rosenbaum Card, J.G. Rosenbaum, Cleveland, OH, USA) and automated pupillometer (VIP<sup>TM</sup>-200, Neuroptics Inc., San Clemente, CA, USA) under different luminous intensities in 60 eyes of 60 patients who visited the ophthalmology clinic during August 2013.

**Results:** Under the photopic condition, pupil sizes measured using automated pupillometer were larger than those measured using the pupil card with statistical significance. The 2 techniques were not different under mesopic and scotopic conditions. Under all light conditions, automated pupillometer showed higher inter-rater reliability. Under the scotopic condition, pupil sizes measured using the pupil card were smaller than pupil sizes measured using the pupillometer according to increased pupil size.

**Conclusions:** When compared with pupil card, automated pupillometer provided accurate and reliable measurement with small inter-rater variation and was easy and simple to use. However, based on comparable measurements of both techniques under mesopic and scotopic conditions, the pupil card can be used as preoperative evaluation when considering the cost of purchase and maintenance.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(6):863-867

**Key Words:** Pupil card, Pupillometer, Pupil size

동공은 시각인지를 최대화하기 위해 망막으로 도달하는 빛의 양을 최적화하며 색수차 및 구면수차를 최소화하는 기능을 한다. 홍채에 분포된 자율신경에 따라 괄약근과 산

동근이 움직임에 따라 영향을 받으며 동공의 크기는 나이, 성별 등에 따라 같은 조명환경에서도 개인마다 다를 수 있다. 또한 일정한 주위환경에서도 동공의 크기가 변하는 동공동요 현상이 있어 동공 크기 측정 시에는 여러 가지 상황이 고려되어야 한다.

최근 들어 레이저를 이용하여 각막 형태를 변화시키는 굴절수술, 동공 크기의 영향을 받는 형태의 조절형 혹은 회절형 다초점 인공수정체를 사용한 백내장 수술, 각막 인레이 등을 이용한 노안 교정 수술 등이 증가하면서 수술 전 동공 크기의 술 전 측정의 중요성도 커졌다. 굴절 교정 수술 후 시각적인 불편감과 관련된 인자에 대한 여러 연구가 있어 왔다.<sup>1-5</sup> 이 중 동공 크기는 광학부 직경과 연관되어 수술 후 합병증의 일부인 야간 빛 번짐, 눈부심, 대비감도 저하,

■ Received: 2014. 11. 28.      ■ Revised: 2014. 12. 25.

■ Accepted: 2015. 4. 23.

■ Address reprint requests to **Tae Im Kim, MD, PhD**  
Department of Ophthalmology, Yonsei University Severance Hospital, #50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea  
Tel: 82-2-2228-3570, Fax: 82-2-312-0541  
E-mail: taeimkim@gmail.com

\* This study was presented as a narration at the 110th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2013.

© 2015 The Korean Ophthalmological Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

단안 복시 등과 관련이 있을 수 있다.<sup>6-10</sup> 특히 어두울 때 동공이 큰 사람에서 이런 현상이 더욱 심하게 나타날 수 있으며, 이는 술 후 만족도와 관련이 있다.<sup>11-14</sup> 수술 직후에는 연관이 있으나 시간이 지나면 유의한 연관이 없어지거나<sup>15</sup> 아예 유의한 연관이 없다는 연구 결과도 있으나<sup>16-19</sup> 아직도 동공 크기는 환자의 수술 후 만족도를 예측 및 설명할 때 배제할 수 없는 중요한 인자이다.

다초점 인공수정체를 사용한 백내장 수술에서도 수술 전 측정된 동공 크기가 작을 때 효과가 크고 만족감이 높은 것으로 보고되었고,<sup>20-22</sup> 각막 인레이의 경우 큰 관련이 없다는 연구 결과도 있으나 추가 연구가 필요한 상황이다.<sup>23</sup>

동공 크기를 측정하기 위해 광증폭, 적외선, 사진, 비디오 등을 이용한 여러 장비들이 사용될 수 있으며 이들을 이용하여 측정한 동공 크기를 비교한 여러 연구들이 진행되었다. 동공측정표는 큰 비용 없이 비교적 간단하게 동공을 측정할 수 있는 방법이다. 이전 연구에서 동공측정표와 널리 사용되는 Colvard 자동 동공측정계(Oasis Medical, Glendora, CA, USA)를 비교한 연구에서는 동공측정계가 유의하게 동공을 크게 측정하며 2명의 검사자 간에 유의한 차이를 보인다는 보고가 있었으나 측정이 한 가지 조도에서만 이루어졌고 다른 여러 요인으로 인해 정확한 비교는 제한적이었다.<sup>24</sup> 본 연구에서는 동공 크기를 Neuroptics 자동 동공측정계와 동공측정표를 이용하여 측정한 동공 크기의 차이를 비교해 보았고, 2명의 다른 검사자가 측정했을 때 정확도 또한 비교해 보았다.

## 대상과 방법

2013년 8월 1개월 동안 세브란스병원 안과에 초진 내원한 환자 중 안과적 특이 과거력 및 동공 크기에 영향을 줄 수 있는 전신 질환이 없는 총 60명의 60안을 대상으로 선정했다. 모든 환자에서 우안을 검사안으로 정하였다. 두 명의 서로 다른 검사자가 두 가지 방법을 이용하여 명소시, 박명시, 암소시 세 가지 조도에서 동공의 크기를 측정하였다. 자동 동공측정계로 먼저 측정할 경우 바이어스가 있을 수 있어 동공측정표를 먼저 사용하였으며 측정하는 동안 피험자는 측정 받지 않는 눈으로 5 m 거리의 시표를 원거리 주시하였다.

동공측정표(Rosenbaum Card, J.G. Rosenbaum, Cleveland, OH, USA)는 검사자가 동공측정표를 동공과 수평으로 나란히 놓고 직접 비교하는 방식이었으며 최소 측정 단위는 0.5 mm였다. 자동동공측정계(VIP<sup>TM</sup>-200, Neuroptics Inc., San Clemente, CA, USA)는 고무로 된 접촉부를 대상안에 밀착시킨 후 기계 내부의 조도 조정장치 및 자동 초점 조절 시

스템을 이용하여 측정하였고, 불을 켜 상태에서 명소시를 측정하였으며 불을 완전히 소등한 상태에서 30초의 암순응 후 기계 내부의 조도 조정장치로 박명시와 암소시를 측정하였다. 최소 측정 단위는 0.1 mm였다. 초당 14 이미지를 3초 이상 촬영하며 각 이미지의 가장 큰 동공 직경을 측정한 값의 평균이 자동으로 계산되었다. 일반적인 실내 환경의 명소시, 박명시, 암소시의 조도를 조도계(DX-100, Takemura, Japan)를 이용하여 측정하였고 700 lux, 6 lux, 0.5 lux를 기준으로 하여 동공 크기를 측정하였다.

SPSS 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 결과를 분석하였다. 두 가지 측정값을 대응표본 *t* 검정을 이용하여 분석하였고, 관련성을 확인하기 위해 Bland-Altman plot을 사용하였고 상관관계를 확인하기 위해 Pearson's correlation coefficient를 계산하였다. *p*-value가 0.05보다 낮은 것을 통계적으로 유의하다고 정의하였다. 검사자 간 신뢰도 계수는 Boxer and Krueger<sup>25</sup>에 따라 두 검사자 간 결과 차이의 표준편차의 2배로 계산하였다.

## 결 과

검사자 1, 검사자 2가 측정한 동공 크기의 평균, 표준편차는 동공측정표 사용 시 동공 크기는 명소시  $4.14 \pm 0.71$  mm, 박명시  $5.35 \pm 0.93$  mm, 암소시  $5.72 \pm 0.98$  mm였고, 자동동공측정계 사용 시 동공 크기는 명소시  $4.25 \pm 0.72$  mm, 박명시  $5.37 \pm 0.96$  mm, 암소시  $5.70 \pm 1.03$  mm였다. 대응표본 *t* 검정으로 두 방법을 비교했을 때 명소시에서 동공측정계가 동공 크기를 유의하게 크게 측정하였으나( $p < 0.01$ ), 박명시와 암소시에서는 두 방법의 유의한 차이는 없었다( $p = 0.39$ ,  $p = 0.32$ ) (Table 1).

검사자 간 오차는 동공측정표 사용 시 명소시  $0.20 \pm 0.31$  mm, 박명시  $0.28 \pm 0.31$  mm, 암소시  $0.24 \pm 0.27$  mm였고, 자동동공측정계 사용 시 명소시  $0.09 \pm 0.13$  mm, 박명시  $0.11 \pm 0.14$  mm, 암소시  $0.15 \pm 0.19$  mm였다. 세 조도 모두에서 자동동공측정계가 유의하게 오차가 적었으며( $p = 0.01$ ,  $p < 0.01$ ,

**Table 1.** Pupil size measured using pupil card and automated pupillometer

Luminance	Techniques	Pupil size (mm)	<i>p</i> -value*
Photopic	Pupil card	$4.14 \pm 0.71$	<0.01
	Pupillometer	$4.25 \pm 0.72$	
Mesopic	Pupil card	$5.35 \pm 0.93$	0.39
	Pupillometer	$5.37 \pm 0.96$	
Scotopic	Pupil card	$5.72 \pm 0.98$	0.32
	Pupillometer	$5.70 \pm 1.03$	

Values are presented as mean  $\pm$  SD.

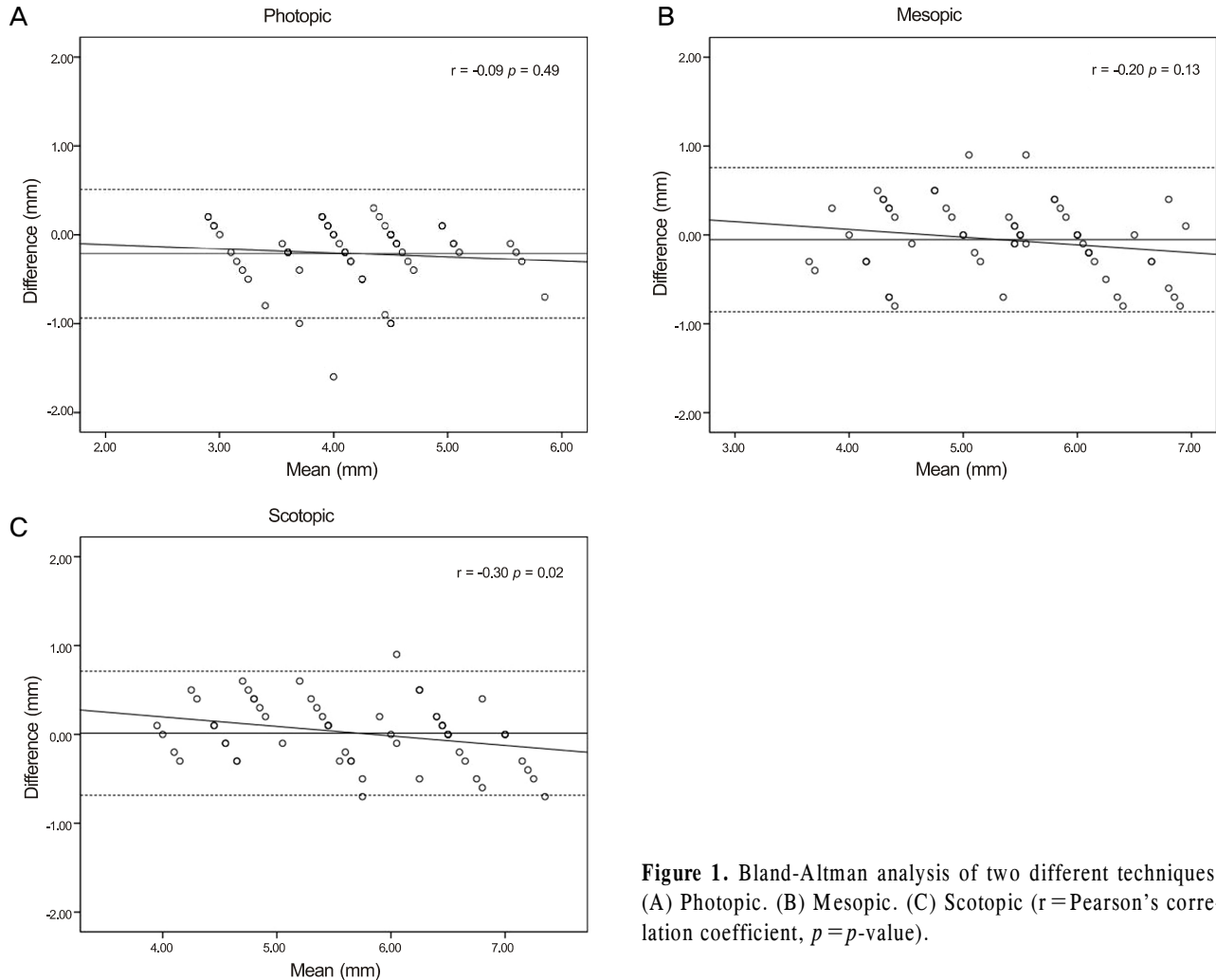
\*Paired *t*-test.

**Table 2.** Difference of pupil size measured by two examiners

Luminance	Techniques	Difference of two examiners	<i>p</i> -value*	Coefficients of inter-rater repeatability
Photopic	Pupil card	0.20 ± 0.31	0.01	0.62
	Pupillometer	0.09 ± 0.13		0.25
Mesopic	Pupil card	0.28 ± 0.31	< 0.01	0.62
	Pupillometer	0.11 ± 0.14		0.28
Scotopic	Pupil card	0.24 ± 0.27	0.04	0.54
	Pupillometer	0.15 ± 0.19		0.37

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

\*Paired *t*-test.



**Figure 1.** Bland-Altman analysis of two different techniques. (A) Photopic. (B) Mesopic. (C) Scotopic ( $r$  = Pearson's correlation coefficient,  $p$  =  $p$ -value).

$p=0.04$ ) 오차 계수 또한 작았다(Table 2).

Bland-Altman plot을 이용하여 두 검사법에서 동공 크기에 따른 경향성을 확인하였고, 세 가지 조도에서 모두 동공 크기가 커질수록 동공측정표 방법에서 동공이 더 작게 측정되는 경향을 보이나( $r=-0.09$ ,  $-0.20$ ,  $-0.30$ ) 암소시에서만 통계적으로 유의한 경향성이 확인되었다( $p=0.49$ ,  $0.13$ ,  $0.02$ ) (Fig. 1).

## 고 찰

본 연구는 안과 수술 시 중요한 고려사항 중 하나인 동공 크기를 측정하기 위해 비교적 간단하고 특별한 장비가 필요 없는 동공측정표와 최신의 자동 동공측정계를 사용하고 얻은 결과를 비교하기 위해 시행되었다.

기존 연구에 따르면 본 연구와 같은 Neuroptics 자동 동공측정계를 사용하여 측정한 암소시 동공 크기의 평균은 6.99

mm이다.<sup>26</sup> 한국인을 대상으로 조사한 Ko et al<sup>27</sup>은 Colvard 자동 동공측정계를 사용하여 암소시 동공 크기의 평균을 60 대 이하의 성인에서 7 mm가 넘는다고 하였으며, Baek et al<sup>14</sup>은 Colvard 자동 동공측정계 사용 시 6.76 mm, Sirius 자동 동공측정계(Sirius, Costruzionestrumentio-ftalmici, Florence, Italy) 사용 시 6.53 mm로 보고한 바 있다. 하지만 본 연구에서 자동 동공측정계를 이용하여 측정한 암소시 동공 크기의 평균은 5.69 mm였다. 이는 기계가 가지는 고유의 측정 방식과 조도 기준의 차이에 기원한 것으로 생각된다.

동공측정표는 신뢰도가 낮고 편차가 크며 검사자 편의가 있을 수 있고 동공 크기를 과대평가할 수 있다고 알려져 있다.<sup>28</sup> 본 연구에서는 명소시 상황에서 자동 동공측정계에서는 동공 크기가 유의하게 크게 측정되었으나, 임상적으로 중요한 박명시나 암소시 상황에서는 두 측정 방법 사이에 유의한 차이가 없었다. 검사자 간의 차이는 동공측정표 사용 시에 더 크게 나타났다.

시중에 나와 있는 자동 동공측정계는 여러 종류가 있고 각각 장단점이 있다. 본 연구에서 사용된 Neuroptics 자동 동공측정계를 사용한 이전의 연구를 보면, Michel et al<sup>29</sup>은 여러 장비를 이용하여 동공을 측정하여 모두가 재현성이 좋고 각각의 장단점이 있음을 언급하였으며, Schallenberg et al<sup>26</sup>은 Colvard와 Procyon 자동 동공측정계(Procyon Instruments Ltd., London, UK) 등과 비교하여 Neuroptics 자동 동공측정계가 가장 검사자 간 오차가 적고 반복성이 좋다고 보고하였다. 이렇게 정확한 것으로 알려진 자동 동공측정계와 비교하여 동공측정표로 측정한 동공 크기 결과값에 큰 차이를 보이지 않음은 동공 크기 검사에서 동공측정표가 유용하게 쓰일 수 있음을 시사한다.

자동 동공측정계는 동공측정표와 비교하여 측정이 용이하고 시간이 짧게 걸리며 조도를 조절하는 데 있어 상당히 편리한 특성을 가진다. 특히 검사자 간 오차가 적어 여러 사람이 검사를 시행해야 되는 경우에는 더욱 사용이 권장된다.<sup>26</sup> 그러나 기계를 구입하는 데와 관리하는 데 드는 비용을 고려할 때 수가가 마련되어 있지 않은 본 검사장비를 모든 기관에서 구비하기는 어려울 수 있다. 본 연구 결과에 따르면 상대적으로 임상적 중요성이 떨어지는 명소시를 제외하고는 두 가지 측정법으로 측정한 동공 크기는 큰 차이가 없었다. 다만 암소시에는 동공 크기가 커질수록 동공측정표가 동공 크기를 작게 측정하는 경향이 있어 술 후 발생 가능한 빛 번짐을 과소평가할 수 있다. 그러나 검사자 간의 오차도 크다는 단점은 남아 있어 이를 고려할 때 평가 분석을 위한 객관적 기준을 가지기 위해서는 가급적 같은 검사자가 본 검사를 담당하는 것으로 오차 발생을 최소화할 수 있을 것이다.

## REFERENCES

- 1) Brunette I, Gresset J, Boivin JF, et al. Functional outcome and satisfaction after photorefractive keratectomy. Part 1: development and validation of a survey questionnaire. *Ophthalmology* 2000; 107:1783-9.
- 2) Bailey MD, Mitchell GL, Dhaliwal DK, et al. Patient satisfaction and visual symptoms after laser in situ keratomileusis. *Ophthalmology* 2003;110:1371-8.
- 3) McGhee CN, Craig JP, Sachdev N, et al. Functional, psychological, and satisfaction outcomes of laser in situ keratomileusis for high myopia. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:497-509.
- 4) Fan-Paul NI, Li J, Miller JS, Florakis GJ. Night vision disturbances after corneal refractive surgery. *Surv Ophthalmol* 2002;47:533-46.
- 5) Hammond SD Jr, Puri AK, Ambati BK. Quality of vision and patient satisfaction after LASIK. *Curr Opin Ophthalmol* 2004;15: 328-32.
- 6) Endl MJ, Martinez CE, Klyce SD, et al. Effect of larger ablation zone and transition zone on corneal optical aberrations after photorefractive keratectomy. *Arch Ophthalmol* 2001;119:1159-64.
- 7) Martínez CE, Applegate RA, Klyce SD, et al. Effect of pupillary dilation on corneal optical aberrations after photorefractive keratectomy. *Arch Ophthalmol* 1998;116:1053-62.
- 8) Roberts CW, Koester CJ. Optical zone diameters for photorefractive corneal surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1993;34:2275-81.
- 9) Charles KC. Screening for pupil size in prospective refractive surgery patients. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:294.
- 10) Han J, Han KE, Ahn JM, et al. Influence of pupil size on visual acuity after implantation of the TECNIS 1-piece intraocular lens. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:1615-20.
- 11) Alarcón A, Rubiño M, Péérez-Ocón F, Jiménez JR. Theoretical analysis of the effect of pupil size, initial myopic level, and optical zone on quality of vision after corneal refractive surgery. *J Refract Surg* 2012;28:901-6.
- 12) Lim DH, Lyu IJ, Choi SH, et al. Risk factors associated with night vision disturbances after phakic intraocular lens implantation. *Am J Ophthalmol* 2014;157:135-41.e1.
- 13) Helgesen A, Hjortdal J, Ehlers N. Pupil size and night vision disturbances after LASIK for myopia. *Acta Ophthalmol Scand* 2004; 82:454-60.
- 14) Baek JS, Park JH, Yoo ES, et al. Comparison of Colvardpupillometer, ORBScan II and Sirius in determining pupil size for refractive surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:1175-9.
- 15) Schallhorn SC, Kaupp SE, Tanzer DJ, et al. Pupil size and quality of vision after LASIK. *Ophthalmology* 2003;110:1606-14.
- 16) Chan A, Manche EE. Effect of preoperative pupil size on quality of vision after wavefront-guided LASIK. *Ophthalmology* 2011;118: 736-41.
- 17) Myung D, Schallhorn S, Manche EE. Pupil size and LASIK: a review. *J Refract Surg* 2013;29:734-41.
- 18) Pop M, Payette Y. Risk factors for night vision complaints after LASIK for myopia. *Ophthalmology* 2004;111:3-10.
- 19) Schallhorn S, Brown M, Venter J, et al. The role of the mesopic pupil on patient-reported outcomes in young patients with myopia 1 month after wavefront-guided LASIK. *J Refract Surg* 2014;30: 159-65.
- 20) Plainis S, Ntzilepis G, Atchison DA, Charman WN. Through-focus

- performance with multifocal contact lenses: effect of binocularity, pupil diameter and inherent ocular aberrations. *Ophthalmic Physiol Opt* 2013;33:42-50.
- 21) Artigas JM, Menezo JL, Peris C, et al. Image quality with multifocal intraocular lenses and the effect of pupil size: comparison of refractive and hybrid refractive-diffractive designs. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:2111-7.
  - 22) Salati C, Salvat ML, Zeppieri M, Brusini P. Pupil size influence on the intraocular performance of the multifocal AMO-Array intraocular lens in elderly patients. *Eur J Ophthalmol* 2007;17:571-8.
  - 23) Tomita M, Kanamori T, Waring GO 4th, Huseynova T. Retrospective evaluation of the influence of pupil size on visual acuity after KAMRA inlay implantation. *J Refract Surg* 2014;30:448-53.
  - 24) Ho LY, Harvey TM, Scherer J, et al. Comparison of Rosenbaum pupillometry card using red and blue light to Colvard and Iowa pupillometers. *J Refract Surg* 2010;26:498-504.
  - 25) Boxer Wachler BS, Krueger RR. Agreement and repeatability of pupillometry using videokeratography and infrared devices. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:35-40.
  - 26) Schallenberg M, Bangre V, Steuhl KP, et al. Comparison of the Colvard, Procyon, and Neuroptics pupillometers for measuring pupil diameter under low ambient illumination. *J Refract Surg* 2010;26:134-43.
  - 27) Ko BU, Ryu WY, Park WC. Pupil size in the normal Korean population according to age and illuminance. *J Korean Ophthalmol Soc* 2011;52:401-6.
  - 28) Rosen ES, Gore CL, Taylor D, et al. Use of a digital infrared pupillometer to assess patient suitability for refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:1433-8.
  - 29) Michel AW, Kronberg BP, Narváez J, Zimmerman G. Comparison of 2 multiple-measurement infrared pupillometers to determine scotopic pupil diameter. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:1926-31.

---

= 국문초록 =

## 자동동공측정계와 동공측정표를 이용하여 측정한 동공 크기의 비교

**목적:** 동공 크기 측정에 있어 자동 동공측정계와 동공측정표를 이용하여 얻은 결과를 비교해 보고자 하였다.

**대상과 방법:** 2013년 8월 1개월 동안 안과에 내원한 60명 환자의 60안을 대상으로 동공측정표(Rosenbaum Card, J.G. Rosenbaum, Cleveland, OH, USA)와 자동 동공측정계(VIP™-200, Neuroptics Inc., San Clemente, CA, USA)를 이용하여 각기 다른 조도(명소시, 박명시, 암소시)에서 동공 크기를 측정하였다.

**결과:** 명소시에서는 자동 동공측정계가 유의하게 크게 측정되었고 박명시와 암소시에서는 두 방법의 유의한 차이가 없었다. 세 조도 모두에서 유의하게 자동 동공측정계가 검사자 간 오차가 적었다. 암소시에서는 동공 크기가 커질수록 동공측정표를 이용하였을 때 유의하게 작게 측정되는 경향이 있었다.

**결론:** 가장 기본적인 동공 크기 측정 방법인 동공측정표와 비교할 때 자동동공측정계는 검사자 간 오차가 적은, 정확도가 높은 결과를 보였다. 박명시와 암소시 동공 크기 측정에는 두 기계가 유사한 결과를 보여 동공측정표 역시 수술 전 참고자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

〈대한안과학회지 2015;56(6):863-867〉

---