

파장가변 빛간섭단층촬영계와 초음파 각막두께측정계를 이용해 측정한 중심각막두께의 비교

Comparison of Central Corneal Thickness Measured by Swept-source Optical Coherence Tomography and Ultrasound Pachymetry

신우범^{1,2} · 정현교^{1,2} · 김민교^{1,2} · 김홍석¹ · 이준모¹ · 김찬윤² · 김지현¹

Woo Beom Shin, MD^{1,2}, Hyun Kyo Jeong, MD^{1,2}, Min Kyo Kim, MD^{1,2}, Hong Seok Kim, MD¹,
Jun Mo Lee, MD¹, Chan Yun Kim, MD², Ji Hyun Kim, MD¹

실로암 안과병원¹, 연세대학교 의과대학 안과학교실 시기능개발연구소²

Siloam Eye Hospital¹, Seoul, Korea

The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, Yonsei University College of Medicine², Seoul, Korea

Purpose: To analyze and compare ultrasound pachymetry (USP) with a more recently adopted device, the intra ocular lens (IOL) master 700, which are both used to measure central corneal thickness.

Methods: The central corneal thickness was measured in 24 eyes of 12 glaucoma patients and in 83 eyes of 42 normal patients. First, the IOL master 700 was used to measure the central corneal thickness, followed by measurements taken using USP later. The results were analyzed using a paired *t*-test. We analyzed the agreement and the correlations between the two test devices by using Bland-Altman plots and the Pearson correlation test. To evaluate the reproducibility, measurements with the IOL master 700 were taken twice for a few normal patients within a small time interval.

Results: Via the IOL master 700, the thickness of the central cornea showed a high reproducibility and repeatability, demonstrating $2.7 \pm 1.7 \mu\text{m}$ for the test-retest variability, 6.78% for the coefficient of variation, and 0.997 for the intraclass correlation value. The mean measurements using USP and the IOL master 700 are $554.4 \pm 37.4 \mu\text{m}$ and $551.1 \pm 37.1 \mu\text{m}$, respectively, showing that the IOL master 700 measured significantly smaller values than USP with a *p*-value < 0.001 . The deviations between the two methods are scattered throughout the 95% confidence interval. According to the Pearson correlation test, the measured values of the two test devices were found to have a highly positive correlation ($r = 0.977$, $p < 0.0001$).

Conclusions: This study demonstrated that the central corneal thickness (CCT) measured via the IOL master was significantly thinner than that of USP, and the two test devices had a high correlation and good agreement. The CCT value measured via the IOL master 700 also exhibited high reproducibility.

J Korean Ophthalmol Soc 2017;58(3):276-282

Keywords: Central corneal thickness, Ultrasound pachymetry, IOL master 700

■ Received: 2016. 11. 3. ■ Revised: 2017. 1. 30.

■ Accepted: 2017. 2. 26.

■ Address reprint requests to **Ji Hyun Kim, MD**
Siloam Eye Hospital, #181 Deungchon-ro, Gangseo-gu, Seoul
07668, Korea
Tel: 82-2-2650-0880, Fax: 82-2-2650-0725
E-mail: jhkim@siloam.co.kr

중심각막두께(central corneal thickness, CCT)의 측정은 굴절 교정 수술에 있어서 수술 전후의 평가에 매우 중요한 역할을 하며, 녹내장 환자의 정확한 진단과 치료에 있어서도 필수적인 검사이다.¹ 굴절 교정 수술 전 각막 중심두께의 측정을 통해 각막확장증이나 원추각막 등의 합병증을 예측하거나 진단할 수 있으며 수술 조건이나 수술의 종류 결정에도 영향을 줄 수 있다.^{2,3} 녹내장 환자에서 각막 두께

© 2017 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.

에 따른 실제 안압의 보정에도 정확한 각막두께의 측정은 녹내장 진단과 치료에 중요한 역할을 한다.⁴

각막 두께를 측정하는 방법에는 대표적으로 초음파 각막 두께측정계(ultrasound pachymetry, USP)가 사용되고 있다. USP는 접촉식 방법으로 검사자가 소식자(probe)를 각막 중심에 접촉하여 그 값을 측정하므로 검사자의 숙련도나 각막의 측정 위치에 따라 오차가 발생할 수 있으며 접촉으로 인한 각막 손상의 가능성이 있다. 따라서 최근에는 비접촉식 방법으로 각막 두께를 측정하는 검사 장비들이 다양하게 개발되고 있다.

IOL master 700 (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)은 새로운 안구생체계측 장비로 비접촉식 방법을 통해 안축장, 전방 깊이, 수정체 두께 등의 다양한 생체계측치를 제공하며, 특히 중심각막두께를 측정하여 제공한다. IOL master 700은 파장가변 빔간섭단층촬영(swept-source optical coherence tomography, SS-OCT)을 이용하여 안구의 생체계측값을 결정하며 기존의 부분결합간섭계(partial-coherence interferometry, PCI) 기반의 생체계측기인 IOL master 500 (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)과 비교하여 시각화된 안구의 단면 구조 및 중심각막두께, 수정체 두께를 추가로 제공한다.⁵

본 연구에서는 중심각막두께의 측정을 위한 방법으로 기존에 널리 사용되던 초음파 각막두께측정계와 최근 사용하고 있는 IOL master 700을 이용하여 그 검사 결과를 비교하고 검사의 일치도와 두 검사 방법의 상관관계를 분석하고자 하였으며 IOL master 700을 이용한 검사 결과의 재현성(reproducibility)에 대해서도 알아보려고 하였다. 또한 안압하강제를 사용하는 녹내장 환자에 대해서도 분석해 봄으로써 안압 하강제의 사용이 검사 결과에 차이를 가져오는지도 살펴보았다.

대상과 방법

본원에서 녹내장으로 경과관찰하며 안압하강제를 점안하는 환자 12명 24안과 정상 환자 42명 83안을 대상으로 검사를 시행하였고 녹내장 환자를 group 1, 정상 환자를 group 2로 분류하였다. 당뇨, 고혈압과 같은 전신적 과거력이 있거나 안과적 수술력 혹은 각막에 영향을 줄 수 있는 외상력이 있는 경우 대상에서 제외하였다. 세극등 전안부 검사를 통해 각막이나 결막, 눈꺼풀테에 병적인 변화가 보이는 환자들도 제외하였다.

각막두께 측정을 위해 두 명의 숙련된 검사자가 두 가지 검사법에 무작위로 배정되어 검사를 시행하였다. IOL master 700을 이용한 각막두께 측정 시 환자의 턱과 이마가 잘

고정된 것을 확인 후 눈높이를 조절하여 주시점을 보도록 하였으며 검사기기에 나타난 중심과 영상을 통해 주시가 제대로 이루어진 것을 확인 후 측정하였다. 검사 기기의 재현성 확인을 위해 정상 환자에 대해서는 검사 당일 일정 간격을 두고 다른 검사자에 의해 재검사를 시행하여 그 값을 기록하였다. IOL master를 이용한 검사 후, 환자의 눈에 proparacaine 0.5% (Paracaine[®], Han Mi Pharm., Seoul, Korea)를 점안하여 각막 마취를 시행하였으며 초음파 각막두께측정계 (Pachymeter-SP3000[®], Tomey corporation, Tokyo, Japan)를 이용하여 각막두께 측정을 시행하였다. 환자를 똑바로 앉힌 후 측정하지 않는 눈으로 검사실 벽 정면에 표시된 지점을 주시하게 한 후 소식자(probe)를 각막 중심에 수직으로 접촉하여 5회 측정하였으며 그 평균값을 구하여 측정치로 하였다. 각막 두께의 일중 변화 효과를 배제하기 위해 각막 두께 측정은 오전 9시에서 12시 사이에 시행하였다.

IOL master 700으로 측정된 각막두께의 재현성 분석을 위해 intraclass correlation coefficient (ICC), 95% confidence interval (CI), the coefficient of variation (CV), and test-retest variability를 계산하였다.

두 검사기기로 측정된 중심각막두께의 값을 비교하여 두 기계 간의 차이를 분석하였다. Paired-T test를 이용하여 중심각막두께 측정치를 비교하였고 Bland-Altman plots를 이용하여 검사기기 간의 일치도를 분석하였다. Pearson correlation test를 통해 검사기기 간의 상관관계에 대하여 알아 보았다. 두 그룹에서 각막두께 차의 비교는 Student *t*-test를 이용하였다. 통계처리는 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 버전을 사용하여 분석하였고 *p*값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다. 본 연구는 본원 임상시험윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받았다.

결 과

총 54명 107안에 대하여 측정을 시행하였고 이 중 남자는 23명 45안, 여자는 31명 62안이었으며 평균 나이는 46.7 ± 16.4 세였다. 녹내장으로 경과관찰 중이던 Group 1의 안압하강제 사용 개수는 평균 1.2 ± 0.6 개였다. IOL master 700의 재현성을 알아보기 위해, group 2에 해당하는 일부 환자인 정상 환자 36명 72안에 대해서는 두 번씩 중심각막 두께를 측정하여 분석하였으며 그 결과 ICC 값은 0.997로 높은 재현성을 보였으며, 변동계수는 6.78%, test-retest variability는 $2.7 \pm 1.7\mu\text{m}$ 로 좋은 반복성을 보였다(Table 1). 초음파 각막두께측정계를 이용하여 측정된 중심각막두께는 $554.4 \pm 37.4 \mu\text{m}$ 였고 IOL master 700은 $551.1 \pm 37.1 \mu\text{m}$

Table 1. Intraclass correlation coefficient, coefficient of variation, and test-retest variability of central corneal thickness measurements with IOL master 700 in healthy eyes

IOL master 700	Intraclass correlation coefficient			CV (%)	Test-retest variability (μm)
	ICC	95% CI	p-value		
CCT	0.997	0.994-0.998	<0.001	6.78 ± 0.01	2.7 ± 1.7

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

ICC = intraclass correlation; CI = confidence interval; CV = coefficient of variation; CCT = central corneal thickness.

Table 2. Study variables and central corneal thickness of glaucoma patients (group 1) and normal patients (group 2)

Variables	Group 1	Group 2	Total
No. of eye (patients)	24 (12)	83 (42)	107 (54)
Age (years)	58.2 ± 9.2	37.6 ± 16.0	46.7 ± 16.4
Gender (male:female)	10:14	35:48	45:62
CCT by USP (μm)	544.1 ± 40.0	557.3 ± 36.4	554.4 ± 37.4
CCT by IOL master 700 (μm)	539.1 ± 37.0	554.6 ± 36.6	551.1 ± 37.1

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

CCT = central corneal thickness; USP = ultrasound pachymetry.

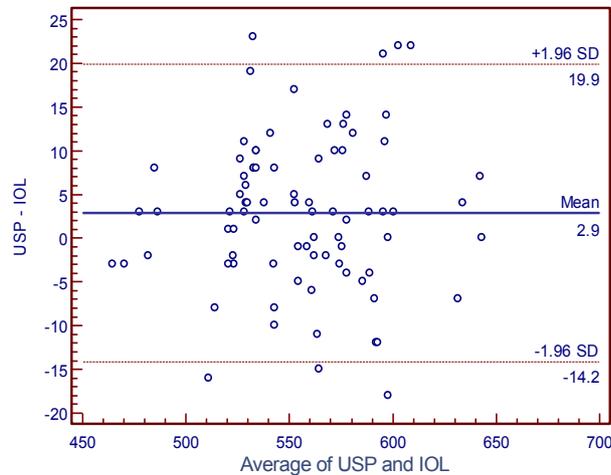


Figure 1. Bland Altman plots between the 2 methods. The middleline is the mean and the lines on the side represent the upper and lower 95% limits of agreement. USP = ultrasound pachymetry; IOL = intraocular lens; SD = standard deviation.

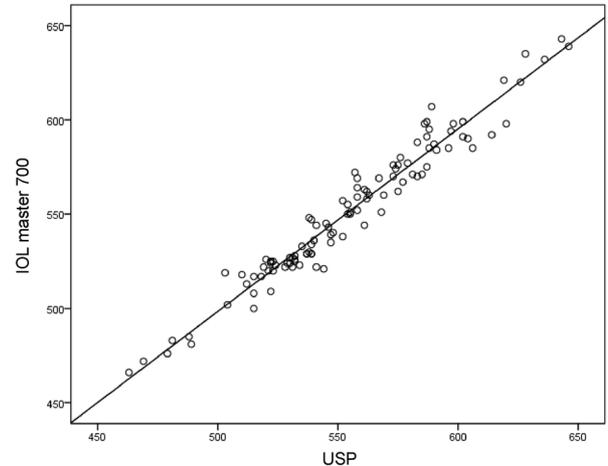


Figure 2. Correlation analysis graph (Scatter plot) between the 2 methods. Scattergram showing the correlation of central corneal thickness measured by USP and IOL master 700. USP = ultrasound pachymetry; IOL = intraocular lens.

로, IOL master 700으로 측정된 중심각막두께가 통계적으로 유의하게 얇게 측정되었다(Paired-T test, $p < 0.001$) (Table 2).

두 검사기기 간의 차이를 알아보기 위해 Bland-Altman plots를 통해 일치도를 분석해보았다. 두 검사로 측정된 측정치 간의 95% 일치도 범위는 34.1 μm (-14.2~19.9 μm)로 나타났으며 95% 신뢰구간 내에 산점도가 고르게 분포함을 확인하였다(Fig. 1). 상관관계 분석에서 서로 다른 두 검사 기기로 측정된 중심각막두께는 통계적으로 유의하게 높은 양의 상관관계를 보였다(Pearson correlation, $r = 0.976$, $p < 0.0001$) (Fig. 2).

녹내장 및 안압하강제 사용 여부에 따른 검사 결과의 차이가 나타나는지 알아보기 위해 녹내장 환자와 정상 환자 두

군(Group 1, Group 2)으로 나누어 측정된 중심각막두께를 분석해 보았다. Group 1에서 초음파 각막두께측정계를 이용하여 측정된 중심각막두께는 544.1 ± 40.0 μm, IOL master를 이용하여 측정된 중심각막두께는 539.1 ± 37.0 μm로 IOL master를 이용한 측정값이 통계적으로 유의하게 얇게 나타났으며($p = 0.005$), group 2에서도 각각 557.3 ± 36.4 μm, 554.6 ± 36.6 μm로 역시 IOL master를 이용한 측정값이 통계적으로 유의하게 얇게 나타났다($p = 0.003$) (Table 3). 각 group에서의 초음파 각막두께측정계와 IOL master로 측정된 중심각막두께의 차는(ΔCCT) 각각 5.2 ± 7.9 μm, 2.8 ± 8.3 μm로 group 1에서 그 차이가 더 크게 나타났으나, 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.242$) (Table 4).

Table 3. Central corneal thickness measurement with USP and IOL master 700 in glaucomatous and healthy eyes

Variables	USP (μm)	IOL master 700 (μm)	p-value
Group 1	544.1 ± 40.0	539.1 ± 37.0	0.005
Group 2	557.3 ± 36.4	554.6 ± 36.6	0.003

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.
USP = ultrasound pachymetry.

Table 4. Difference of central corneal thickness in glaucomatous and healthy eyes

Variables	Group 1	Group 2	p-value
ΔCCT	5.0 ± 7.9	2.8 ± 8.3	0.242

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.
ΔCCT = ultrasound pachymetry (USP)-IOL master 700; CCT = central corneal thickness.

고 찰

각막두께를 측정하기 위해 여러 가지 기기들이 사용되고 있지만 각각의 기기들은 다양한 장점과 한계점들을 지니고 있다. 현재 각막두께를 측정하기 위해 가장 널리 사용되고 있는 초음파 각막두께측정계는 저렴하며 쉽게 사용 가능하고 높은 정확도를 보인다는 장점이 있다.⁶⁻⁸ 하지만 검사를 위해 점안마취제를 사용해야 하고 소시자를 각막에 직접 접촉하여 검사하기 때문에 각막의 손상, 감염의 위험성이 있으며, 검사자에 따라 측정값이 달라질 수 있는 단점이 있다.⁹ 이에 따라 각막두께를 측정하기 위해 비접촉경면현미경(noncontact specular microscopy), 샤임플러그사진기(Scheimpflug camera) 등 여러 비접촉식 각막두께 측정법이 개발되어 사용되고 있다.^{10,11}

1990년대에 들어서 사용되기 시작한 IOL master (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)는 부분결합간섭(partial coherence interferometry) 원리를 이용하여 안축장, 전방 깊이, 각막굴절력 등을 측정하는 생체계측 장비로 기존의 연구에서 그 정확성과 재현성이 보고되어 있다.¹²⁻¹⁴ IOL master 700은 기존의 IOL master와 다르게 파장가변 빔간섭단층촬영(swept-source optical coherence tomography, SS-OCT)을 이용하여 생체계측치를 측정하는 장비로 1,050 nm 파장의 레이저를 이용하여 안구의 시각적인 단면 구조를 생성하여 기존의 안축장, 전방 깊이 등의 생체계측치뿐만 아니라 추가로 수정체 두께 및 중심각막두께 측정치를 제공한다.⁵

IOL master 700은 최근 이용되기 시작한 장비로 이에 대한 연구 결과는 많지 않다. 본 연구에서는 중심각막두께를 측정하기 위한 방법으로 IOL master 700의 정확성, 재현성을 알아보기 위해 기존의 초음파 각막두께측정계와 비교해 보았고, 특히 정상인뿐 아니라 안압하강제를 사용하고 있

는 녹내장 환자를 포함시켜 실제 임상적인 환경에서 IOL master 700으로 측정된 각막 두께를 살펴보고자 하였다.

과거 830 nm 파장의 optical coherence tomography (OCT)를 이용하여 중심각막두께를 측정한 연구에서 그 재현성과 반복성이 확인된 바 있으며 최근 연구에서는 1,310 nm 파장의 OCT를 이용하였을 때 더욱 빠르고 고화질의 영상을 통해 더 나은 측정치를 제공할 수 있다는 결과가 보고된 바 있다.¹⁵⁻¹⁸ IOL master 700은 SS-OCT를 이용한 방식으로 그 재현성에 대해서는 연구된 바 없었으나, 본 연구에서 다른 검사자에 의해 두 번 중심각막두께를 측정하여 분석한 결과 높은 재현성을 나타내었다.

본 연구에서 초음파 각막두께측정계를 이용하여 측정된 중심각막두께는 554.4 ± 37.4 μm, IOL master 700로 측정된 중심각막두께는 551.1 ± 37.1 μm로, IOL master 700으로 측정했을 때 평균 3.3 μm가량 얇게 측정되었다. 과거 다른 비접촉식 각막두께 측정법인 비접촉경면현미경과 초음파 각막두께 측정계를 비교한 연구에서 Bovelle et al¹⁹과 Módis et al²⁰은 비접촉경면현미경으로 측정된 중심각막두께가 초음파 각막두께측정계와 비교했을 때 각각 31.6 μm, 28.0 μm 얇게 측정된다고 보고한 바 있다. 또한 비접촉식 각막두께 측정법인 Orbscan과 초음파각막두께 측정계를 비교한 연구에서 Yaylali et al²¹과 Kang et al²²은 Orbscan으로 측정된 각막두께가 각각 23-28 μm, 24 μm 두껍게 측정된다고 보고하였다. 이중 샤임플러그사진기와 초음파각막두께 측정계를 비교한 연구에서 Yeter et al²³과 Ladi and Shah²⁴는 각각 근시 환자와 정상안에서 두 검사방법 간의 중심각막두께에 유의한 차이가 없다고 보고하였다. 최근 국내 연구에서는 비접촉경면현미경을 이용하여 측정된 중심각막두께가 초음파각막두께측정계를 이용한 측정치보다 14.4 μm 두껍게 측정되었으나 비접촉경면현미경과 이중 샤임플러그사진기를 이용한 중심각막두께 측정치와 이중 샤임플러그사진기와 초음파 각막두께측정계를 이용한 중심각막두께 측정치 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다고 보고하였다.²⁵

앞선 연구들에서 검사방법에 따른 각막 두께의 차이가 나타나는 이유는 각막 측정부위의 차이, 각막 두께 측정 시 눈물층의 포함 여부 등으로 설명하고 있다. 앞서 살펴본 다른 비접촉식 각막두께 측정법과 초음파 각막두께측정계의 측정치 차이는 30 μm 정도로 나타나는데 반해 본 연구 결과에서는 그 차이가 3 μm 정도로 나타났으나 통계적으로 두 검사방법 간의 유의미한 차이가 있었다.

녹내장 환자에서 장기간의 prostaglandin analogs 점안제의 사용이 중심각막두께를 감소시킨다는 이전의 연구 결과가 있었으며, 반면 alpha-2 adrenoceptor agonist의 사용은

중심각막두께를 증가시킨다는 보고도 있었다.²⁶⁻²⁸ 또한 안압 하강제의 사용이 눈물층의 두께 감소를 야기한다는 연구 결과도 있었다.²⁹ 앞선 연구들에서 나타난 각막 두께의 변화가 실제 각막 두께의 변화로 볼 수도 있으나 눈물층의 두께 변화에 따른 측정값의 차이일 가능성도 배제할 수 없다. 눈물층의 두께는 본 연구에서 비교한 두 검사방법에서 다른 결과를 나타내는 오차의 원인이 될 가능성이 있으므로 본 연구에서는 안압 하강제를 사용하는 녹내장 환자에 대해서도 분석해 보았다.

녹내장 환자인 group 1과 정상안인 group 2로 나누어 살펴보았을 때 두 검사 간의 차이는 각각 $5.2 \pm 7.9 \mu\text{m}$, $2.8 \pm 8.3 \mu\text{m}$ 로 group 1에서 그 차이가 더 크게 나타났으나 통계적으로 유의미한 차이는 보이지 않았으며 두 군 모두에서 IOL master 700으로 측정된 중심각막두께 측정치가 더 얇게 나타났다.

본 연구에서 초음파 각막두께측정계를 이용한 각막두께의 측정치가 더 두껍게 측정된 것은 여러 원인으로 생각해 볼 수 있다. 초음파 각막두께 측정계로 측정 시 검사자가 직접 소식자를 각막 중심부에 접촉하여야 하므로 검사자가 정확히 각막 중심부에 소식자를 접촉하지 못하거나 환자가 눈을 움직여 각막 중심부를 벗어나 주변부 각막의 두께가 측정되어 더 두꺼운 측정치로 표현되었을 가능성이 있다. 반면 IOL master 700의 경우 환자가 제대로 주시를 하고 있는지 시각적으로 확인 가능한 상태에서 검사를 하므로 더 정확하게 각막 중심부의 두께를 잴 수 있는 가능성이 있다. 초음파 각막두께 측정계로 측정 전 사용하는 마취 점안제에 의한 각막 부종 효과로 각막 두께가 두껍게 측정된다는 연구도 있다.^{30,31}

SS-OCT 방식을 이용한 다른 기기와 초음파 각막두께측정계를 이용한 이전의 연구에서는 두 검사기기 간의 일치도가 높다고 보고한 바 있으며 본 연구에서와 같은 기기인 IOL master 700과 초음파 각막두께측정계를 비교한 국내 연구에서도 두 기기 간의 높은 일치도를 보고한 바 있다.^{32,33}

본 연구에서 두 검사기기 간의 차이를 알아보기 위해 시행한 Bland-Altman plots에서 대부분의 산점도가 95%의 일치도 범위 내에 분포하고 있으나 그 분포 정도가 넓게 나타나고 있으며 일치도 범위는 $34.1 \mu\text{m}$ ($-14.2 \sim 19.9 \mu\text{m}$)로 임상적으로 유의미한 차이로 볼 수 있어 두 측정법 간에 일치도가 높다고 보기는 어려웠다. 앞선 연구결과에 비해 본 연구에서 두 검사방법 간의 일치도는 떨어지는 것으로 나타났으나 상관관계 분석에는 두 검사방법을 통한 중심각막두께의 측정값이 높은 양의 상관관계를 나타냈다.

본 연구는 새로 나온 생체계측 장치인 IOL master 700을

이용하여 중심각막두께를 측정하고 기존에 널리 사용되던 초음파 각막두께측정계와 비교하여 그 대체 가능성을 알아 보았다. IOL master 700과 초음파 각막두께 측정계는 높은 상관관계를 보이기는 했으나 IOL master 700으로 측정된 중심각막두께는 초음파 각막두께측정계보다 통계적으로 유의미하게 얇게 측정되는 결과를 나타냈다. 또한 Bland-Altman plots를 통해 나타나는 일치도 범위로 미루어 보아 중심각막두께 측정을 위한 방법으로 초음파 각막두께측정계를 IOL master 700으로 완전히 대체하는 것은 어려울 것으로 보인다. 하지만 IOL master 700의 빠르고 간편한 검사 방법을 고려해 보았을 때, 추후 검사의 오차 범위와 보정값에 대한 연구가 충분히 이루어질 경우 그 대체 가능성은 충분하다고 생각된다. 본 연구에서 녹내장 환자군과 정상안 환자군에서 모두 비슷하게 USP와 IOL master 700 간의 측정치 오차가 나타났으나 정상안에서만 IOL master 700을 반복 측정하여 녹내장 환자를 포함 모든 환자들에서의 재현성을 평가하지는 못했다는 한계점이 있다. 추후 더욱 많은 환자를 대상으로 연구를 진행하는 것이 필요하며, 두 기기 간의 명확한 보정 가능한 오차 범위를 확인한다면 중심각막두께 측정에 있어 IOL master 700의 효용성은 더욱 클 것으로 보인다.

REFERENCES

- 1) Chihara E. Assessment of true intraocular pressure: the gap between theory and practical data. *Surv Ophthalmol* 2008;53:203-18.
- 2) Ou RJ, Shaw EL, Glasgow BJ. Keratectasia after laser in situ keratomileusis (LASIK): evaluation of the calculated residual stromal bed thickness. *Am J Ophthalmol* 2002;134:771-3.
- 3) Wang Z, Chen J, Yang B. Posterior corneal surface topographic changes after laser in situ keratomileusis are related to residual corneal bed thickness. *Ophthalmology* 1999;106:406-9; discussion 409-10.
- 4) Jonas JB, Stroux A, Velten I, et al. Central corneal thickness correlated with glaucoma damage and rate of progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:1269-74.
- 5) Grulkowski I, Liu JJ, Zhang JY, et al. Reproducibility of a long-range swept-source optical coherence tomography ocular biometry system and comparison with clinical biometers. *Ophthalmology* 2013;120:2184-90.
- 6) Harper CL, Boulton ME, Bennett D, et al. Diurnal variations in human corneal thickness. *Br J Ophthalmol* 1996;80:1068-72.
- 7) Copt RP, Thomas R, Mermoud A. Corneal thickness in ocular hypertension, primary open-angle glaucoma, and normal tension glaucoma. *Arch Ophthalmol* 1999;117:14-6.
- 8) Ling T, Ho A, Holden BA. Method of evaluating ultrasonic pachometers. *Am J Optom Physiol Opt* 1986;63:462-6.
- 9) Li EY, Mohamed S, Leung CK, et al. Agreement among 3 methods to measure corneal thickness: ultrasound pachymetry, Orbscan II, and Visante anterior segment optical coherence tomography.

- Ophthalmology 2007;114:1842-7.
- 10) Ventura AC, Wälti R, Böhnke M. Corneal thickness and endothelial density before and after cataract surgery. *Br J Ophthalmol* 2001;85:18-20.
 - 11) Savini G, Carbonelli M, Barboni P, Hoffer KJ. Repeatability of automatic measurements performed by a dual Scheimpflug analyzer in unoperated and post-refractive surgery eyes. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:302-9.
 - 12) Olsen T, Thorwest M. Calibration of axial length measurements with the Zeiss IOLMaster. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:1345-50.
 - 13) Choi JH, Roh GH. The reproducibility and accuracy of biometry parameter measurement from IOL Master (R). *J Korean Ophthalmol Soc* 2004;45:1665-73.
 - 14) Shin JA, Chung SK. Comparison of the refractive results measured by ultrasound and partial coherence interferometers. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:723-7.
 - 15) Maldonado MJ, Ruiz-Oblitas L, Munuera JM, et al. Optical coherence tomography evaluation of the corneal cap and stromal bed features after laser in situ keratomileusis for high myopia and astigmatism. *Ophthalmology* 2000;107:81-7; discussion 88.
 - 16) Muscat S, McKay N, Parks S, et al. Repeatability and reproducibility of corneal thickness measurements by optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:1791-5.
 - 17) Izatt JA, Hee MR, Swanson EA, et al. Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye in vivo with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 1994;112:1584-9.
 - 18) Radhakrishnan S, Rollins AM, Roth JE, et al. Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310 nm. *Arch Ophthalmol* 2001;119:1179-85.
 - 19) Bovelle R, Kaufman SC, Thompson HW, Hamano H. Corneal thickness measurements with the Topcon SP-2000P specular microscope and an ultrasound pachymeter. *Arch Ophthalmol* 1999;117:868-70.
 - 20) Módis L Jr, Langenbucher A, Seitz B. Corneal thickness measurements with contact and noncontact specular microscopic and ultrasonic pachymetry. *Am J Ophthalmol* 2001;132:517-21.
 - 21) Yaylali V, Kaufman SC, Thompson HW. Corneal thickness measurements with the Orbscan Topography System and ultrasonic pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 1997;23:1345-50.
 - 22) Kang PS, Yang YS, Kim JD. Comparison of corneal thickness measurements with the orbscan and ultrasonic pachymetry. *J Korean Ophthalmol Soc* 2000;41:1697-703.
 - 23) Yeter V, Sönmez B, Beden U. Comparison of central corneal thickness measurements by Galilei Dual-Scheimpflug analyzer(R) and ultrasound pachymeter in myopic eyes. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2012;43:128-34.
 - 24) Ladi JS, Shah NA. Comparison of central corneal thickness measurements with the Galilei dual Scheimpflug analyzer and ultrasound pachymetry. *Indian J Ophthalmol* 2010;58:385-8.
 - 25) Lee MJ, Shin YU, Lim HW, et al. Central corneal thickness measured by noncontact specular microscopy, dual rotating scheimpflug camera and ultrasound pachymetry. *J Korean Ophthalmol Soc* 2015;56:1520-6.
 - 26) Maruyama Y, Mori K, Ikeda Y, et al. Effects of long-term topical prostaglandin therapy on central corneal thickness. *J Ocul Pharmacol Ther* 2014;30:440-4.
 - 27) Sen E, Nalcacioglu P, Yazici A, et al. Comparison of the effects of latanoprost and bimatoprost on central corneal thickness. *J Glaucoma* 2008;17:398-402.
 - 28) Grueb M, Mielke J, Rohrbach JM, Schlote T. Effect of brimonidine on corneal thickness. *J Ocul Pharmacol Ther* 2011;27:503-9.
 - 29) Lee SY, Lee H, Bae HW, et al. Tear lipid layer thickness change and topical anti-glaucoma medication use. *Optom Vis Sci* 2016;93:1210-7.
 - 30) Herse P, Siu A. Short-term effects of proparacaine on human corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1992;70:740-4.
 - 31) Nam SM, Lee HK, Kim EK, Seo KY. Comparison of corneal thickness after the instillation of topical anesthetics: proparacaine versus oxybuprocaine. *Cornea* 2006;25:51-4.
 - 32) Fukuda R, Usui T, Miyai T, et al. Corneal thickness and volume measurements by swept source anterior segment optical coherence tomography in normal subjects. *Curr Eye Res* 2013;38:531-6.
 - 33) Kim IG, Lee CE, Lee JS, et al. Utility of the swept source optical coherence tomography for measurements of central corneal thickness. *J Korean Ophthalmol Soc* 2016;57:1542-8.

= 국문초록 =

파장가변 빛간섭단층촬영계와 초음파 각막두께측정계를 이용해 측정한 중심각막두께의 비교

목적: 중심각막두께(central corneal thickness, CCT)의 측정을 위한 방법으로 기존에 널리 사용되던 초음파 각막두께측정계(ultrasound pachymetry [USP])와 최근 사용되고 있는 IOL master 700을 이용하여 그 검사 결과를 비교하고 상관관계를 분석하고자 하였다.

대상과 방법: 본원에서 녹내장으로 경과관찰 중인 환자 12명 24안과 정상 환자 42명 83안을 대상으로 검사를 시행하였다. 동일한 환자에서 IOL master 700으로 CCT를 측정 후 다시 USP로 CCT를 측정하였다. 각각의 검사기기로 측정된 중심각막두께 측정치를 paired *t*-test를 이용하여 비교하였다. Bland-Altman plots를 이용하여 검사기기 간의 일치도를 분석하였고, Pearson correlation test를 통해 검사기기 간의 상관관계에 대하여 알아보았다. 정상환자 일부를 대상으로 간격을 두고 IOL master 700으로 2번 측정하여 재현성을 알아보았다.

결과: IOL master 700으로 두 번 측정한 중심각막두께의 분석 결과 ICC 값은 0.997, 변동계수는 6.78%, test-retest variability는 $2.7 \pm 1.7 \mu\text{m}$ 로 높은 재현성과 반복성을 보였다. USP와 IOL master 700으로 측정한 CCT는 각각 $554.4 \pm 37.4 \mu\text{m}$, $551.1 \pm 37.1 \mu\text{m}$ 로 통계학적으로 유의하게 IOL master 700으로 측정한 CCT가 얇게 나타났다($p < 0.001$). Bland-Altman plots에서 95% 신뢰구간 내에 산점도가 분포함을 확인하였으나 일치도가 높지 않음을 보였다. Pearson correlation test를 통해 두 검사기기의 측정값이 통계적으로 높은 양의 상관관계를 보임을 알 수 있었다(Pearson correlation, $r = 0.977$, $p < 0.0001$).

결론: 본 연구 결과 IOL master 700으로 측정한 CCT는 높은 재현성을 보였으며 USP와 비교하여 통계적으로 유의하게 얇게 측정되었다. 두 검사는 높은 양의 상관관계를 보였으나 높은 일치도를 나타내지는 않았다.

〈대한안과학회지 2017;58(3):276-282〉