

비접촉경면현미경, 이중샤임플러그 전안부사진기, 초음파각막두께측정계를 이용해 측정한 중심각막두께의 비교

Central Corneal Thickness Measured by Noncontact Specular Microscopy, Dual Rotating Scheimpflug Camera and Ultrasound Pachymetry

이민지 · 신용운 · 임한웅 · 강민호 · 조희윤 · 성민철

Min Jee Lee, MD, Yong Un Shin, MD, PhD, Han Woong Lim, MD, PhD, Min Ho Kang, MD, PhD,
Hee Yoon Cho, MD, PhD, Min Cheol Seong, MD, PhD

한양대학교 의과대학 한양대학교구리병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Hanyang University Guri Hospital, Hanyang University College of Medicine, Guri, Korea

Purpose: To compare central corneal thickness (CCT) as measured using noncontact specular microscopy (NCSM), dual rotating Scheimpflug camera (Galilei®), and ultrasound pachymetry (USP).

Methods: The measurements of CCT using NCSM, dual rotating Scheimpflug camera and USP in 70 eyes of 70 healthy subjects were compared.

Results: The average measurements of CCT using NCSM, dual rotating Scheimpflug camera, and USP were $567.70 \pm 31.21 \mu\text{m}$, $557.84 \pm 26.29 \mu\text{m}$, and $553.31 \pm 29.69 \mu\text{m}$, respectively. The CCT measurement using NCSM was statistically significantly thicker than when measured using USP ($p < 0.05$). There was no significant difference between the NCSM and dual rotating Scheimpflug camera ($p = 0.138$). Additionally, there was no significant difference between the dual rotating Scheimpflug camera and USP ($p = 0.656$). A significant linear correlation was observed among the NCSM, dual rotating Scheimpflug camera, and USP ($r > 0.900$, $p < 0.001$).

Conclusions: The results of the 3 methods were significantly correlated but the measurement using NCSM was significantly thicker than when using USP. CCT measurements of healthy eyes using dual rotating Scheimpflug camera were more correlated with USP than NCSM. The CCT measurements using dual rotating Scheimpflug camera is a better alternative for USP than NCSM.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(10):1520-1526

Key Words: Central corneal thickness, Dual rotating Scheimpflug camera, Noncontact microscopy, Ultrasound pachymetry

중심각막두께의 측정은 여러 안과 질환의 평가 및 수술

전 검사에 있어서 매우 중요하다. 굴절교정수술 전의 각막 두께측정은 수술 종류와 수술 조건의 결정에 중요한 요소이며 수술 후에는 각막두께측정으로 원추각막, 각막확장증 등의 합병증을 예측하거나 진단할 수 있다.^{1,2} 각막이식술 후에도 중심각막두께의 측정은 각막내피 기능을 평가하는데 있어서 중요하다.³⁻⁵ 또한 녹내장에서도 안압을 측정할 때 각막두께에 따라 안압을 보정해야 하므로 각막두께의 정확한 측정이 요구되고, 각막두께가 얇을수록 시신경의 손상이 빠르게 진행된다고 보고된 바 있어 녹내장의 진단

■ Received: 2015. 4. 17. ■ Revised: 2015. 5. 30.

■ Accepted: 2015. 7. 23.

■ Address reprint requests to **Min Cheol Seong, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Hanyang University Guri
Hospital, #153 Gyeongchun-ro, Guri 11923, Korea
Tel: 82-31-560-2354, Fax: 82-31-564-9479
E-mail: goddns76@hanmail.net

* This study was presented as a poster at the 113th Annual Meeting
of the Korean Ophthalmological Society 2015.

© 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.

과 치료에도 각막두께 측정은 중요하다.^{6,7}

현재 각막두께 측정에는 다양한 방법들이 사용되고 있는데 크게 접촉식 방법과 비접촉식 방법 두 가지가 있다. 접촉식 방법으로는 초음파 각막두께측정계(ultrasound pachymetry)가 대표적이고 가장 널리 이용되고 있다. 하지만 각막에 직접 접촉해서 측정해야 하므로 각막의 측정위치에 따라 잘못 측정될 수 있고 접촉에 의한 각막상피손상이나 감염도 발생할 수 있어 근래에는 비접촉식 방법으로 각막두께를 측정하는 검사 장비들이 많이 개발되고 있다.⁸ 비접촉식 방법으로는 비접촉경면현미경(noncontact specular microscopy), 전안부 빛간섭단층촬영계(anterior segment optical coherence tomography), slit-scanning을 이용한 Orbscan[®] (Orbtek Inc., Salt Lake City, UT, USA), 회전샤임플러그 카메라(rotating Scheimpflug camera)를 이용한 Pentacam[®] (Oculus, Wetzlar, Germany)이 있고 최근 도입된 갈릴레이[®] (Galilei[®], Ziemer, Port, Switzerland)는 이중회전샤임플러그 카메라(dual rotating Scheimpflug camera)와 placido topographer가 결합된 방식으로 정확한 각막두께 및 전안부 생체측치를 측정할 수 있다.⁹

비접촉경면현미경(noncontact specular microscopy)은 각막 전면의 상피세포와 후면의 내피세포에서 반사되는 빛의 거리를 이용하여 각막두께를 측정한다.¹⁰ Orbscan[®], Pentacam[®], Galilei[®]는 전안부의 스캔을 통해 각막두께를 측정하고 각막 지형도를 만드는 방식인데, Orbscan[®]은 좌우로만 지나가는 slit beam을 이용한 이미지임에 비해 Pentacam[®]과 Galilei[®]는 회전하는 샤임플러그 카메라(rotating Scheimpflug camera)를 사용한다. Pentacam[®]은 1대의 360도 회전하는 샤임플러그 카메라를 사용하여 각막두께에 관한 정보를 제공하였으나, Galilei[®]는 2대의 샤임플러그 카메라가 180도씩 분리되어 회전하면서 측정하여 더 정확한 각막두께를 제공한다고 알려져 있다.¹¹

그동안 이러한 비접촉 각막두께 측정 방법들과 초음파 각막 두께측정계의 측정치 차이에 대한 보고가 있었으나,¹²⁻¹⁵ 정상안에서 비접촉경면현미경을 이용하여 측정한 각막두께와 이중샤임플러그전안부 사진기를 이용하여 측정한 각막두께의 비교는 아직 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구는 정상안을 대상으로 하여 접촉식 각막두께측정계인 초음파 각막두께측정계와 비접촉식 각막두께측정계인 비접촉경면현미경, 이중샤임플러그전안부 사진기를 이용하여 중심각막두께를 측정하여 비교해 보고자 하였다.

대상과 방법

본 연구는 고혈압이나 당뇨 같은 전신 질환이 없으며 안

과적 과거력이 없는 건강한 성인 70명 70안을 대상으로 하였다. 모든 대상 환자에서 나안시력 및 교정시력을 측정하고, 안압 검사, 세극등현미경검사를 시행하였다. 이상의 검사에서 최대교정시력 0.8 이상, 안압이 21 mmHg 미만이며 세극등현미경 전안부 검사에서 각막, 홍채 및 전방에 이상 소견이 없는 경우를 대상으로 하였다. 안과적 수술력이나 각막 질환의 과거력, 외상력이 있는 경우는 대상에서 제외하였다. 모든 검사는 한 명의 검사자에 의해 시행되었다. 초음파 각막두께 측정 시 발생할 수 있는 각막의 손상을 최소화하기 위해 비접촉성 검사인 비접촉경면현미경(noncontact specular microscopy)과 이중샤임플러그전안부 사진기 검사를 먼저 시행하고 초음파 각막두께측정검사(ultrasound pachymetry)를 가장 마지막에 실시하였다. 실험안은 우안과 좌안 중 무작위로 선택하였으며 본 연구는 본원 의학윤리심의위원회의 심의를 거친 후 진행되었다.

비접촉경면현미경(specular microscopy-NSPC[®], Konan medical, Tokyo, Japan)을 이용한 각막두께 측정 시에는 세극등검사와 같이 대상자의 턱을 대고 이마를 붙인 후 눈높이를 조절하고 주시점을 보게 하였다. 기계를 각막중심부에 위치시킨 후 자동적으로 초점을 맞춰 각막 중심부의 내피영상을 촬영하면서 각막두께를 측정하였다. 이중샤임플러그 전안부 사진기(Galilei[®], Ziemer Group, Port, Switzerland)를 이용한 각막두께 측정도 마찬가지로 대상자의 턱과 이마를 검사대에 고정시킨 후 눈을 주시점에 고정하게 하였다. 그다음 모니터상에서 붉은 십자 표시가 네 개의 흰 점위에 놓이면서 붉은 색의 가로선이 각막의 외측경계에 닿을 때 스캔을 하도록 하였다. 동공 중심이 중앙에 위치하고 눈물층이 마르기 전에 측정을 하였고 결과지에 나타난 중심각막두께의 값을 측정치로 하였다. 이상의 검사는 2회 반복해서 시행한 후 평균값을 구해서 측정치로 하였다. 초음파 각막두께측정계(Pachymeter-SP3000[®], Tomey corporation, Tokyo, Japan)를 이용한 검사는 가장 마지막에 시행하였으며 검사 전 proparacaine 0.5% (Paracaine[®], Han Mi Pharm., Seoul, Korea)로 각막을 마취한 다음 환자를 똑바로 눕힌 후 측정하지 않는 눈으로 정면을 주시하게 한 후 소식자(probe)를 각막 중심에 수직으로 접촉하여 10회 측정한 후 평균값을 구하여 측정치로 하였다.

세 검사기기로 측정된 중심각막두께의 값을 비교하여 검사기계 간의 차이를 분석하였다. 각각의 검사기기로 측정된 중심각막두께 측정치에 대한 비교는 one-way ANOVA를 이용하여 비교하였고 Scheffe multiple comparison test를 이용하여 사후검정을 시행하였다. Bland and Altman plots를 이용하여 검사기기 간의 일치도를 분석하였고 Pearson correlation test를 이용해 검사기기 간의 상관관계에 대해서

도 알아보았다. 통계처리는 SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 버전을 사용하여 분석하였고 p 값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

전체 대상군은 총 70명 70인이었으며 이 중 남자는 38명, 여자는 32명이었으며 평균 나이는 56.4 ± 8.3 세(23-72세)였다. 실험안은 우안이 36안이고 좌안이 34안이었다. 비접촉경면현미경을 이용하여 측정된 중심각막두께의 평균값은 $567.70 \pm 31.21 \mu\text{m}$ (range: 498.00-637.00 μm)였고, 이중샤임플러그전안부 사진기를 이용하여 측정된 값은 $557.84 \pm 26.29 \mu\text{m}$ (range: 511.00-605.00 μm), 초음파 각막두께측정계는 $553.31 \pm 29.69 \mu\text{m}$ (range: 503.00-611.00 μm)로, 비접촉경면현미경이 가장 두껍게 측정되었고 초음파각막두께측정계가 가장 얇게 측정되었으며, 각 측정치 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.013$) (Table 1, Fig. 1).

세 검사기기 중 어떠한 검사기기 사이에서 통계적으로 유의한 차이를 보였는지를 Scheffe multiple comparison test를 이용하여 알아보았다. 비접촉경면현미경과 이중샤임플러그전안부 사진기를 이용한 측정치는 $9.85 \pm 4.92 \mu\text{m}$, 비

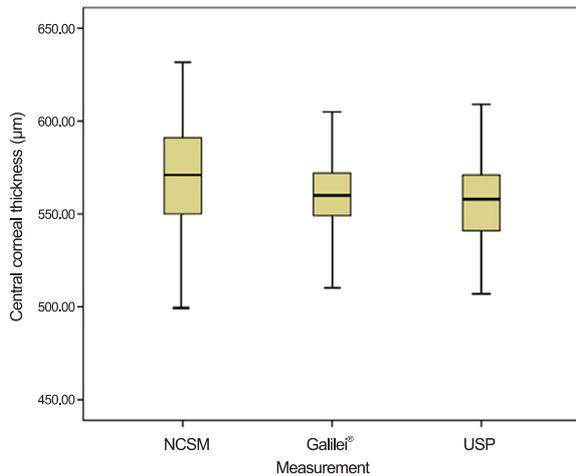


Figure 1. Mean value, 95% CI and range of CCT measured by NCSM, dual rotating Scheimpflug (Galilei®), and USP. CI = confidence interval; CCT = central corneal thickness; NCSM = noncontact specular microscopy; USP = ultrasound pachymetry.

접촉경면현미경과 초음파각막두께측정계를 이용한 측정치는 $14.38 \pm 4.87 \mu\text{m}$, 이중샤임플러그전안부 사진기와 초음파각막두께측정계를 이용한 측정치는 $4.52 \pm 5.14 \mu\text{m}$ 의 차이가 있었고 비접촉경면현미경과 초음파각막두께측정계의 차이만이 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.015$) (Table 2).

세 검사기기 중 두 가지 사이의 차이에 대해 알아보기 위해서 Bland-Altman plots를 만들어 일치도 범위를 알아보았다. 일치도 분석에서는 비접촉경면현미경과 이중샤임플러그전안부 사진기로 측정된 측정치 간의 95% 일치도 범위는 $21.18 \mu\text{m}$ (-0.74~20.44 μm), 비접촉경면현미경과 초음파 각막두께측정계의 측정치 간의 95% 일치도 범위는 $16.22 \mu\text{m}$ (6.27-22.49 μm), 이중샤임플러그전안부 사진기와 초음파 각막두께측정계의 측정치 간의 95% 일치도 범위는 $17.96 \mu\text{m}$ (-4.46~13.5 μm)로 비접촉경면현미경과 초음파 각막두께측정계 간의 일치도 범위가 가장 작았고 비접촉경면현미경과 이중샤임플러그전안부 사진기로 측정된 측정치 간의 일치도 범위가 가장 컸다(Fig. 2).

세 검사기기 간 상관관계 분석에서는 비접촉경면현미경과 이중샤임플러그전안부 사진기의 측정값, 비접촉경면현미경과 초음파 각막두께측정계의 측정값, 이중샤임플러그전안부 사진기와 초음파 각막두께측정계의 측정값은 모두 통계적으로 높은 양의 상관관계를 보였다(Pearson correlation, $r=0.946$, $r=0.966$, $r=0.956$ and $p<0.001$ in all group) (Fig. 3).

고 찰

정확하게 각막두께를 측정하는 것은 안과 질환의 진단과 치료에 있어서 필수적이며, 특히 각막굴절교정수술이 발달

Table 2. Pairwise comparison of central corneal thickness measurements

Comparison	Mean difference \pm SD (μm)	p -value*
NCSM and Galilei®	9.85 ± 4.92	0.138
NCSM and USP	14.38 ± 4.87	0.015
Galilei® and USP	4.52 ± 5.14	0.656

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated. SD = standard deviation; NCSM = noncontact specular microscope; USP = ultrasound pachymetry.

*Scheffe multiple comparison test.

Table 1. Mean CCT measured by NCSM, dual rotating Scheimpflug (Galilei®), and USP

	NCSM	Galilei®	USP	p -value*
CCT (μm)	567.70 ± 31.21	557.84 ± 26.29	553.31 ± 29.69	0.013†

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

CCT = central cornea thickness; NCSM = noncontact specular microscope; USP = ultrasound pachymetry.

*One-way analysis of variance (ANOVA); †CCT measured with NCSM was significantly thicker than with USP but there was no significant difference between NCSM and Galilei®, Galilei® and USP.

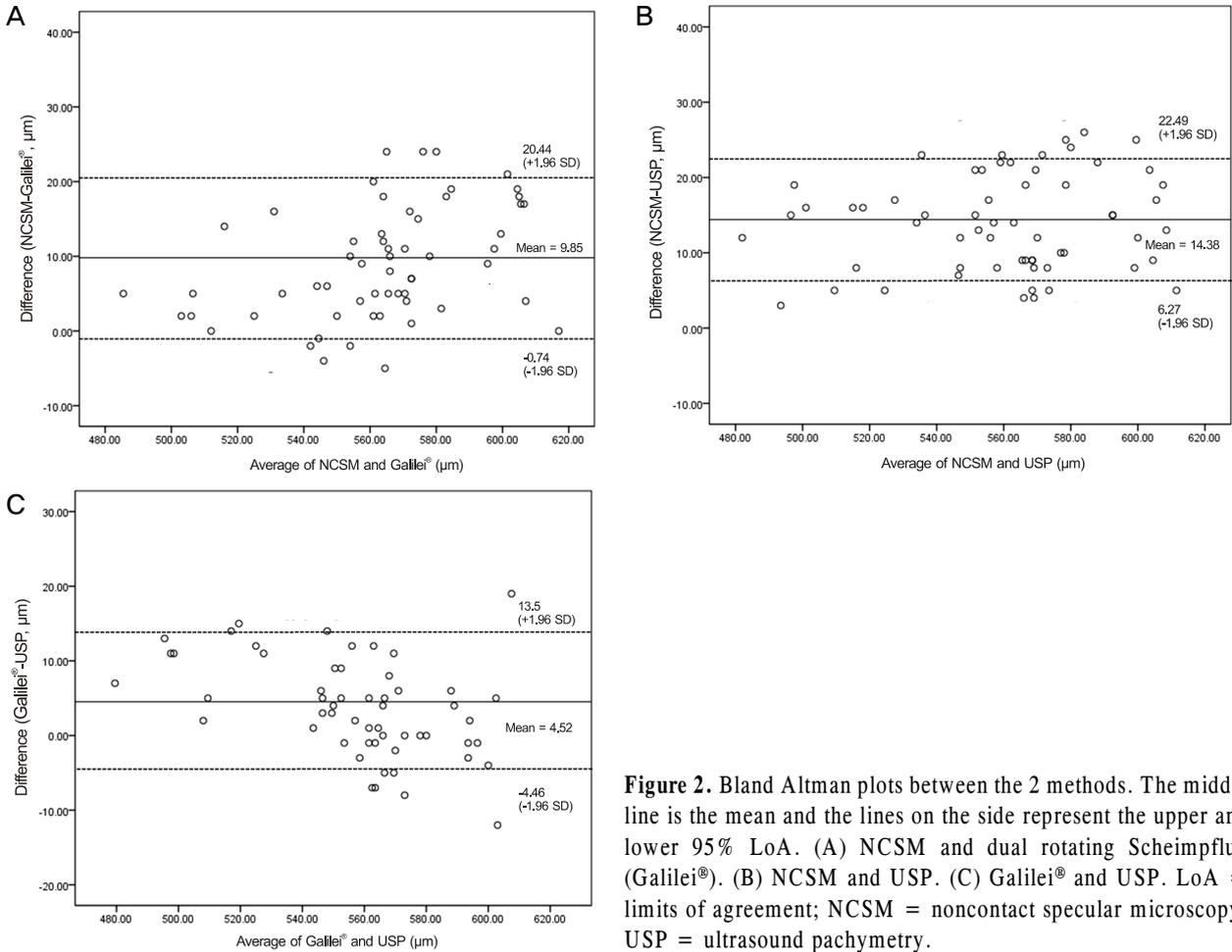


Figure 2. Bland Altman plots between the 2 methods. The middle line is the mean and the lines on the side represent the upper and lower 95% LoA. (A) NCSM and dual rotating Scheimpflug (Galilei®). (B) NCSM and USP. (C) Galilei® and USP. LoA = limits of agreement; NCSM = noncontact specular microscopy; USP = ultrasound pachymetry.

하면서 정확한 각막두께 측정의 필요성이 더욱 중요하게 여겨지고 있다.¹⁶ 각막두께측정에는 여러 가지 방법이 있지만 초음파 각막두께측정계가 쉽게 사용할 수 있고 상대적으로 저렴한 검사비용과 높은 정확도로 현재 표준 검사로 간주되고 있다.¹⁷⁻¹⁹ 하지만 검사 전 점안 마취가 필요하고 소식자가 각막에 직접 접촉하여 측정하기 때문에 검사자에 따라 가해지는 압력의 차이나 측정 위치에 따라 측정값에 차이가 있을 수 있고, 각막 상피의 손상, 감염의 전파 등의 위험이 있을 수 있다.⁸ 이러한 문제점들로 인해 여러 비접촉식 각막두께 측정법이 개발되어 사용되고 있는데 그 중에 한 가지 방법인 비접촉경면현미경은 각막의 내피세포를 평가해서 각막질환의 진단에 중요한 역할을 하는 검사이며 현재 국내에서 널리 쓰이고 있다. 또한 각막내피세포 검사 뿐 아니라 각막 전면의 상피세포와 후면의 내피세포에서 반사되는 빛의 거리차를 이용하여 각막두께를 측정할 수 있다.²⁰ 또 다른 비접촉 각막두께 측정법 중 한 가지인 Galilei®는 최근에 도입된 각막지형도 장비로 1대의 샤임플러그 카메라가 360도 회전하여 측정하는 Pentacam®과는 달리 2대의 샤임플러그 카메라가 180도씩 분리되어 회전하

면서 측정하기 때문에 보다 더 정확한 각막두께에 대한 정보를 제공할 수 있다.²¹ 이러한 비접촉경면 현미경과 이중회전샤임플러그 카메라의 발전으로 두 기계를 통해 중심각막두께 측정이 가능해졌지만 아직 정확성에 대한 논란이 있으며 두 기계를 통한 검사 결과의 정확성을 평가하고, 지금까지 가장 널리 이용되고 있는 초음파 각막두께측정계의 측정치를 비교해 보는 것이 필수적이라 생각된다.

Bovelle et al²²과 Módis et al²³은 비접촉경면현미경으로 측정한 중심각막두께가 초음파 각막두께측정계에 비해 각각 31.6 μm , 28.0 μm 얇게 측정된다고 보고하였다. 국내에서는 Jung et al²⁴이 굴절교정수술 전후 중심각막두께를 측정하여 비교했는데 비접촉경면현미경이 초음파 각막두께 측정계보다 14.4 μm 얇게 측정된다고 보고하였다. 최근에 반대되는 연구 결과가 있었는데 Yang and Koh²⁵는 비접촉경면현미경을 이용하여 중심각막두께를 측정한 경우가 초음파 각막두께측정계를 이용하여 중심각막두께를 측정한 경우보다 0.54 μm 두껍게 측정되었다고 보고했다.

이중샤임플러그전안부 사진기를 이용한 기존의 연구에서 Yeter et al²⁶은 근시 환자 81명 161안을 대상으로 이중

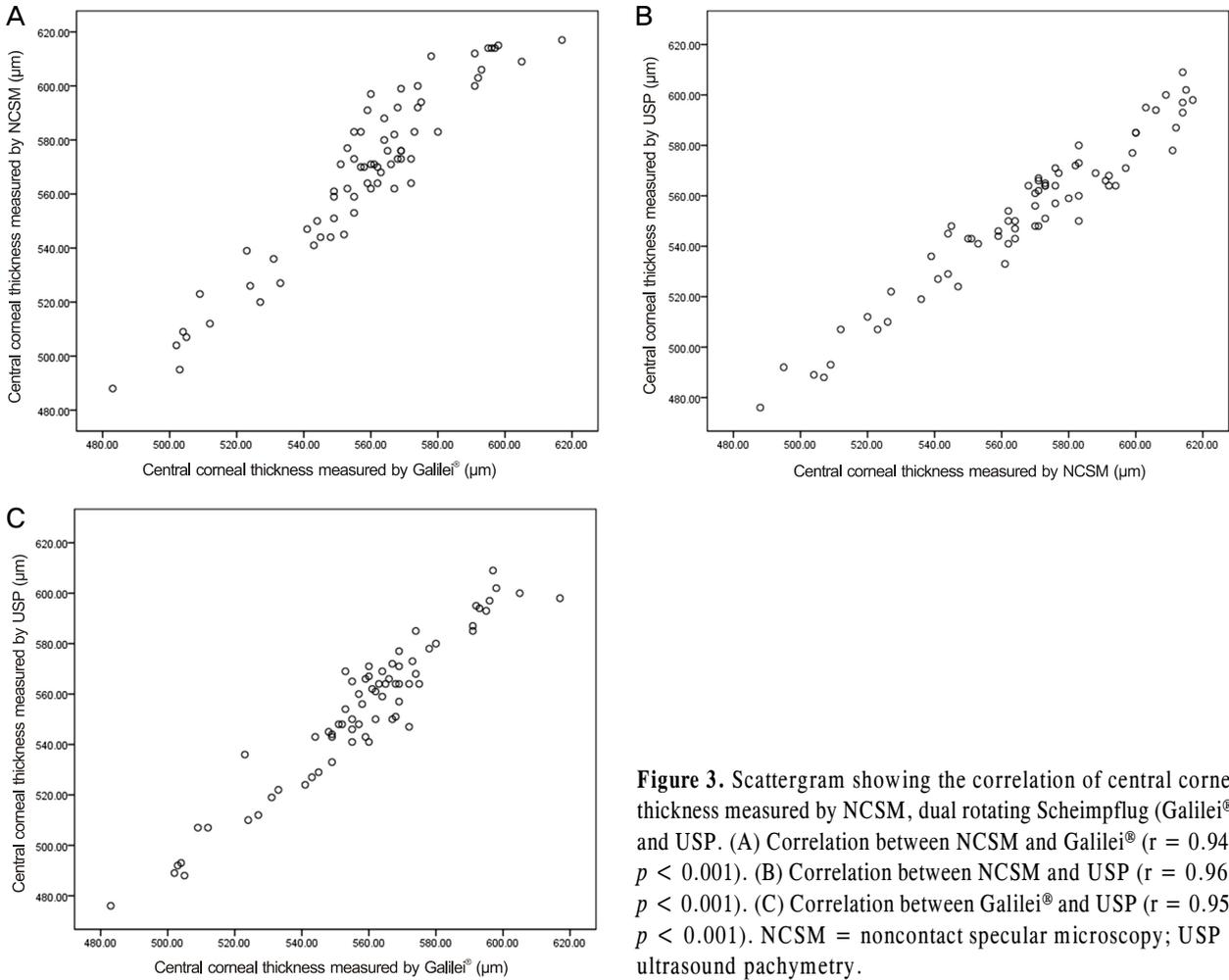


Figure 3. Scattergram showing the correlation of central corneal thickness measured by NCSM, dual rotating Scheimpflug (Galilei®), and USP. (A) Correlation between NCSM and Galilei® ($r = 0.946$, $p < 0.001$). (B) Correlation between NCSM and USP ($r = 0.966$, $p < 0.001$). (C) Correlation between Galilei® and USP ($r = 0.956$, $p < 0.001$). NCSM = noncontact specular microscopy; USP = ultrasound pachymetry.

샤임플러그전안부 사진기와 초음파 각막두께측정계로 중심각막두께를 측정하여 비교했는데 두 검사기기의 측정값 사이에 유의한 차이가 없었다. Ladi and Shah²⁷도 정상안 46명 92안을 대상으로 중심각막두께를 측정하였는데, 이중 샤임플러그전안부 사진기로 측정한 중심각막두께가 초음파 각막두께측정계에 의해 측정된 값과 유의한 차이가 없었다고 보고하였다. 국내에서는 Kim et al¹⁵이 정상인 20명 40안을 대상으로 중심각막두께를 측정하였는데 이중샤임플러그전안부 사진기로 측정한 중심각막두께가 초음파 각막두께측정계에 비해 약 3.83 μm 얇게 측정되었지만 두 기기 사이에 상관관계는 매우 유의하게 나타났으며 모두 높은 일치도를 보였다.

본 연구에서는 비접촉경면현미경을 이용하여 측정한 중심각막두께가 초음파 각막두께측정계를 이용한 측정치보다 약 14.4 μm 두껍게 측정되었으며 이는 통계적으로 유의하였다. 하지만 비접촉경면현미경과 이중샤임플러그전안부 사진기를 이용한 중심각막두께 측정치와 이중샤임플러그전안부 사진기와 초음파 각막두께측정계를 이용한 중심각

막두께 측정치 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

본 연구에서 비접촉경면현미경이 초음파각막두께측정계와 비교했을 때 두껍게 측정된 원인은 다음과 같은 것들을 생각해 볼 수 있다. 첫째로 컴퓨터와 광학기술의 발전으로 최근 개발된 비접촉경면현미경은 이전에 여러 논문에서 사용된 비접촉경면현미경과 달리 각막내피세포의 평가와 중심각막두께를 측정하는 데 1-2초 정도밖에 소요되지 않아서 눈물층의 증발이 거의 영향을 끼치지 않기 때문에 비접촉경면현미경으로 검사 시 각막두께가 두껍게 측정될 수 있다. 또 다른 원인으로는 비접촉경면현미경의 측정 원리를 보면 각막내피에 초점을 맞추어 각막 내피세포의 모양을 보고 그와 동시에 그 부위의 각막 전면의 상피세포와 후면의 내피세포에서 반사되는 빛의 거리차를 이용하여 각막두께측정을 하기 때문에 각막의 중앙보다 약간 주변부의 각막두께를 측정하여 두껍게 측정되었을 가능성도 생각해 볼 수 있다. 상대적으로 시간이 오래 걸리는 전안부 빛간섭단층촬영계로 중심각막두께를 측정할 경우 비접촉경면현미경보다 11.68 μm 짧게 측정된다는 보고가 있었으며,²⁵ 검

사 원리가 같은 두 기기에서 측정 시간의 차이가 중심각막 두께에 영향을 미치는 보고도 있었다. 측정 시간이 짧은 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영영계로 측정했을 때 시간영역 빛간섭단층촬영영계로 측정했을 때보다 중심각막두께가 두껍게 나타났다.²⁸

본 연구에서 통계적으로 유의하지 않지만 이중샤임플러그전안부 사진기를 이용한 측정치가 초음파각막두께측정계보다 약 4.53 μm 두껍게 측정이 되었는데, 최근 정상안과 원주각막안에서 중심각막두께 측정치를 비교한 연구에서도 정상안에서 이중샤임플러그전안부 사진기로 측정된 값이 초음파각막두께측정계보다 15.9 μm 두껍게 측정되었다고 보고된 바 있다.²⁹ 이는 이중샤임플러그전안부 사진기 검사 시간이 짧아 눈물층 증발의 영향을 거의 받지 않아 눈물층까지 측정되어 조금 두껍게 나타나는 것으로 생각된다. 또한 이중샤임플러그전안부 사진기도 각막중심이 컴퓨터에 의해 자동으로 결정되는데 눈의 움직임이나 빛의 질과 각막의 투명도에 영향을 받을 수 있어 각막의 중앙이 아닌 주변부의 두께 측정치가 나타날 수 있다. 하지만 두 개의 회전샤임플러그 카메라(rotating Scheimpflug camera)를 이용하여 측정된 중심각막두께의 값을 평균화하여 나타내기 때문에 환자가 어느 정도 주시점을 잘 주시하지 못해도 비교적 정확한 중심각막두께 측정이 가능하며, 컴퓨터에 나타난 각막지형도 검사 결과를 보고 주시가 잘 안 됐을 경우 검사자가 판단하여 재검을 하거나 수동으로 각막의 중심을 다시 설정하여 보정을 할 수 있는 장점이 있다.

본 연구를 통해 정상안에서 중심각막두께를 측정할 때 이중샤임플러그전안부 사진기로 측정된 중심각막두께가 초음파 각막두께측정계로 측정된 값에 좀 더 유사한 값을 나타냈으며 통계적으로도 유의한 차이를 보이지 않았다. 결론적으로 이중샤임플러그전안부 사진기는 초음파 각막두께측정계를 대체하여 중심각막두께를 측정하는 데 비접촉경면현미경보다 유용한 기계라고 생각한다. 하지만 초음파 각막두께측정계를 대체하여 사용할 경우에는 초음파각막두께측정계에 비하여 두껍게 측정될 수 있기 때문에 향후 이중샤임플러그전안부 사진기를 사용할 때에는 이를 고려해야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) 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.
- 2) 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.

- 3) Yau CW, Cheng HC. Microkeratome blades and corneal flap thickness in LASIK. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2008;39:471-5.
- 4) Whitacre MM, Stein RA, Hassanein K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. *Am J Ophthalmol* 1993;115:592-6.
- 5) Kim DH, Kim MS, Kim JH. Early corneal-thickness changes after penetrating keratoplasty. *J Korean Ophthalmol Soc* 1997;38:1355-61.
- 6) Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Surv Ophthalmol* 2000;44:367-408.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Choi KS, Nam SM, Lee HK, et al. Comparison of central corneal thickness after the instillation of topical anesthetics: proparacaine versus oxybuprocaine. *J Korean Ophthalmol Soc* 2005;46:757-62.
- 10) Kim HS, Kim JH, Kim HM, Song JS. Comparison of corneal thickness measured by specular, US pachymetry, and Orbscan in post-PKP eyes. *J Korean Ophthalmol Soc* 2007;48:245-50.
- 11) Menassa N, Kaufmann C, Goggin M, et al. Comparison and reproducibility of corneal thickness and curvature readings obtained by the Galilei and the Orbscan II analysis systems. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1742-7.
- 12) Shim HS, Choi CY, Lee HG, et al. Utility of the anterior segment optical coherence tomography for measurements of central corneal thickness. *J Korean Ophthalmol Soc* 2007;48:1643-8.
- 13) Jung YG, Song JS, Kim HM, Jung HR. Comparison of corneal thickness measurements with noncontact specular microscope and ultrasonic pachymeter. *J Korean Ophthalmol Soc* 2004;45:1060-5.
- 14) Kim HY, Budenz DL, Lee PS, et al. Comparison of central corneal thickness using anterior segment optical coherence tomography vs ultrasound pachymetry. *Am J Ophthalmol* 2008;145:228-32.
- 15) Kim DW, Yi KY, Choi DG, Shin YJ. Corneal thickness measured by dual Scheimpflug, anterior segment optical coherence tomography, and ultrasound pachymetry. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:1412-8.
- 16) Thomas J, Wang J, Rollins AM, Sturm J. Comparison of corneal thickness measured with optical coherence tomography, ultrasonic pachymetry, and a scanning slit method. *J Refract Surg* 2006;22:671-8.
- 17) Ling T, Ho A, Holden BA. Method of evaluating ultrasonic pachometers. *Am J Optom Physiol Opt* 1986;63:462-6.
- 18) 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.
- 19) Harper CL, Boulton ME, Bennett D, et al. Diurnal variations in human corneal thickness. *Br J Ophthalmol* 1996;80:1068-72.
- 20) Ventura AC, Wälti R, Böhnke M. Corneal thickness and endothelial density before and after cataract surgery. *Br J Ophthalmol* 2001;85:18-20.
- 21) 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.
- 22) Bovellet 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.
- 23) 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.
- 24) Jung YG, Song JS, Kim HM, Jung HR. Comparison of corneal thickness measurements with noncontact specular microscope and ultrasonic pachymeter. J Korean Ophthalmol Soc 2004;45:1060-5.
- 25) Yang YS, Koh JW. Utility of the noncontact specular microscopy for measurements of central corneal thickness. J Korean Ophthalmol Soc 2014;55:59-65.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) Prakash G, Agarwal A, Jacob S, et al. Comparison of fourier-domain and time-domain optical coherence tomography for assessment of corneal thickness and intersession repeatability. Am J Ophthalmol 2009;148:282-90.e2.
- 29) Feizi S, Jafarinasab MR, Karimian F, et al. Central and peripheral corneal thickness measurement in normal and keratoconic eyes using three corneal pachymeters. J Ophthalmic Vis Res 2014;9:296-304.

= 국문초록 =

비접촉경면현미경, 이중샤임플러그 전안부사진기, 초음파각막두께측정계를 이용해 측정한 중심각막두께의 비교

목적: 비접촉경면현미경, 이중샤임플러그전안부 사진기 및 초음파 각막두께측정계를 이용하여 중심각막두께의 측정치를 비교하고자 하였다.

대상과 방법: 정상인 70명 70안을 대상으로 비접촉경면현미경, 이중샤임플러그전안부 사진기 그리고 초음파 각막두께측정계로 측정된 중심각막두께를 비교하고 상관관계를 알아보았다.

결과: 비접촉경면현미경, 이중샤임플러그전안부 사진기 및 초음파 각막두께측정계를 이용하여 측정한 중심각막두께는 각각 $567.70 \pm 31.21 \mu\text{m}$, $557.84 \pm 26.29 \mu\text{m}$, $553.31 \pm 29.69 \mu\text{m}$ 로 비접촉경면현미경이 가장 두껍게 측정되었고 초음파 각막두께측정계가 가장 얇게 측정되었으며, 각 측정치 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 이 중 비접촉경면현미경은 초음파 각막두께측정계보다 유의하게 두껍게 측정되었다($p < 0.05$). 세 검사는 높은 양의 상관관계를 보였다($r > 0.900$, $p < 0.001$).

결론: 비접촉경면현미경에 의해 측정된 중심각막두께는 초음파각막두께측정계에 의해 측정된 중심각막두께보다 유의하게 두껍게 측정되어 결과 해석 시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다. 또한 이중샤임플러그전안부 사진기로 측정된 중심각막두께가 초음파 각막두께측정계로 측정된 값에 좀 더 유사한 값을 나타내며 정상안의 중심각막두께 측정에 이중샤임플러그전안부 사진기가 비접촉경면현미경보다 초음파 각막두께측정계를 대체할 수 있는 좀 더 유용한 방법이라 생각된다.

<대한안과학회지 2015;56(10):1520-1526>
