

두 가지 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기, 펜타캠, 초음파각막측정기로 측정한 중심각막두께 비교

Corneal Thickness Measurements Using 2 Kinds of Spectral Domain Optical Coherence Tomography, Pentacam, Ultrasound Pachymetry

정유진 · 이보람 · 한경은 · 전루민

Yu Jin Cheong, MD, Bo Ram Lee, MD, Kyung Eun Han, MD, Roo Min Jun, MD, PhD

이화여자대학교 의학전문대학원 안과학교실 이화시과학연구소센터

The Institute of Ophthalmology and Optometry, Department of Ophthalmology, Ewha Womans University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To compare the measurements of central corneal thickness (CCT) obtained using two kinds of spectral domain optical coherence tomography (OCT), Pentacam®, and ultrasound pachymetry (USP).

Methods: CCT was measured by Cirrus OCT®, Spectralis OCT®, Pentacam®, and USP in 32 eyes from 32 subjects without ocular disease of the anterior segment.

Results: The average CCT measurements using Cirrus OCT®, Spectralis OCT®, Pentacam®, and USP were $549.2 \pm 28.7 \mu\text{m}$, $545.2 \pm 25.4 \mu\text{m}$, $554.0 \pm 27.8 \mu\text{m}$, and $548.4 \pm 27.9 \mu\text{m}$ respectively. The measurements were significantly highly correlated with each other (Pearson's correlation coefficient $r > 0.9$, all p -values < 0.001), but were significantly different ($p < 0.001$). The CCT 95% limits of agreement between Cirrus OCT® and Spectralis OCT®, Cirrus OCT® and Pentacam®, Cirrus OCT® and USP, Spectralis OCT® and Pentacam®, and Spectralis OCT® and USP were $27.70 \mu\text{m}$, $26.1 \mu\text{m}$, $26.97 \mu\text{m}$, $22.91 \mu\text{m}$, $35.59 \mu\text{m}$, and $32.15 \mu\text{m}$, respectively.

Conclusions: The CCT values measured using the four devices were highly correlated with each other, but the measurement using Pentacam® was significantly thicker than that using USP. The measurements of the two kinds of spectral domain OCT were similar to those using USP. Therefore, these differences should be considered in clinical use, and measurements cannot be considered interchangeable.

J Korean Ophthalmol Soc 2016;57(10):1527-1534

Keywords: Central corneal thickness, Cirrus OCT®, Pentacam, Spectralis OCT®, Ultrasound pachymetry

중심각막두께(central corneal thickness, CCT)의 측정은 안과 영역에서 임상적으로 매우 중요한 검사이다. 특히 굴

절수술 시행 전에 수술 후 생길 수 있는 각막 확장증 등의 합병증을 예방하기 위해 환자가 굴절수술의 적응증에 해당하는지 확인하는 데 필수적이며 어떤 방법으로 수술할 것인지, 수술 깊이를 얼마나 깊게 할 것인지 결정하는 데 사용되고 있다. 뿐만 아니라 중심각막두께측정은 녹내장 환자의 안압 측정값을 보정하는 데에도 이용된다. 골드만압평안압계의 경우 계측값이 상당 부분 각막 두께에 영향을 받기 때문에 이를 보정해 주어야 하며,^{1,2} 같은 이유로 굴절교정술 후 안압의 측정이 부정확할 수 있어 특히 굴절교정수술을 했던 녹내장 환자의 경우 중심각막두께의 측정과

■ Received: 2016. 6. 9. ■ Revised: 2016. 7. 15.

■ Accepted: 2016. 9. 17.

■ Address reprint requests to **Roo Min Jun, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Ewha Womans University
Mokdong Hospital, #1071 Anyangcheon-ro, Yangcheon-gu,
Seoul 07985, Korea
Tel: 82-2-2650-5154, Fax: 82-2-2650-4334
E-mail: jrmoph@ewha.ac.kr

© 2016 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.

이를 통한 안압의 보정이 필요하다.³

현재 각막두께 측정의 표준검사는 접촉식 초음파 각막측정기이지만 최근 샤임플러그 카메라를 이용한 전안부사진기 및 빛간섭단층촬영기 등 비접촉식으로 각막두께를 측정할 수 있는 장비들이 개발되어 임상에서도 널리 이용되고 있다. 회전샤임플러그 카메라의 일종인 Pentacam[®] (Oculus, Wetzlar, Germany)은 세극등의 원리를 이용하여 얻어진 25-30개의 전안부이미지를 3차원적 구조로 재구성하는 기기로서 각막 교정술 및 여러 각막 질환의 진단과 경과관찰에 필수적인 각막지형도 검사제이며,^{4,5} 전안부 빛간섭단층촬영기는 1,310 nm 파장의 적외선을 이용하여 후방 산란(back scattering)된 빛의 강도의 차이에 따라 이 구조물을 통과할 때 반사되는 빛을 받아 전안부의 구조물의 영상을 얻어내고 그와 동시에 각막두께를 측정한다. 초음파 각막두께측정계(ultrasound pachymetry, USP)의 경우 탐침자가 각막에 직접 접촉하여야 하므로 접촉에 의한 각막상피손상 및 감염이 발생할 수 있으며 검사자 간 가해지는 압력의 차이나 측정위치에 따라 측정값의 변화가 있을 수 있어⁶ 최근 앞에서 기술한 비접촉식 각막 측정계가 발달하게 되었다.

이전에 이러한 장비들의 중심각막두께 측정치들을 비교한 연구들은 많으나 최근 대표적으로 많이 사용되고 있는 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영기인 Cirrus OCT[®] (Carl Zeiss Meditec Inc., Dublin, CA, USA)와 Spectralis OCT[®] (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)로 측정된 중심각막두께를 비교한 논문은 아직 없는 실정으로, 본 연구에서는 이 두 가지 장비와 Pentacam[®], 초음파각막측정계(CT80-A, Topcon, Tokyo, Japan)를 이용한 중심각막두께의 측정치를 정상 각막에서 측정하여 비교하고자 하였다.

대상과 방법

2016년 4월1일부터 2016년 5월 1일까지 32명의 건강한 성인 지원자를 대상으로 Cirrus OCT[®], Spectralis OCT[®], Pentacam[®], 초음파각막측정계를 이용하여 중심각막두께를 측정하였다. 또한 모든 대상자에게서 최대교정시력과 안압을 측정하고 세극등현미경검사를 시행하였다. 최대교정시력 0.8 미만, 안압 21 mmHg 이상, 안과적 수술 및 안외상의 과거력이 있는 경우, 원추각막, 각막이형성증, 수포각막병증, 감염각막질환, 비감염성각막궤양 등 중심각막두께 측정에 영향을 줄 수 있는 안과적 질환이 있는 경우, 최근 1개월 이내에 콘택트렌즈를 착용한 적 있는 경우, 최근 1개월 이내에 국소 안약제제를 사용한 적 있는 경우, 고혈압 당뇨 등 전신질환이 있는 경우에는 대상에서 제외하였다. 모든 검사는 숙련된 한 명의 검사자에 의해 각각 2회씩 시

행되었다. 비접촉식 검사 세 가지를 Pentacam[®], Cirrus OCT[®], Spectralis OCT[®]의 순서로 시행하고, 마지막으로 초음파각막측정계를 이용하여 중심각막두께를 측정하였으며 실험 안은 우안과 좌안 중 무작위로 선택하였다. 검사는 모두 정오에서 오후 1시부터 오후 5시 사이에 진행되었고 각막의 탈수를 방지하고 반사물질분비를 줄이기 위하여 각 검사 사이에는 10분씩의 휴식기를 설정하였다. 또한 모든 검사는 암실에서 무산동 상태로 시행되었다. 중심각막두께는 각막의 중앙부 상피에서 각막 중앙부 내피까지의 수직거리로 정의하였다.

Pentacam[®]은 각막지형도 검사를 시행하여 컴퓨터 화면에 각막중심과 동공중심이 중앙에 위치하고, 내외측과 상하측이 대칭이 되는 시점에서 스캔하였다. Cirrus OCT[®]의 anterior segment cube 512×124 영상을 찍은 후 Cirrus 소프트웨어(version 5.0)에서 제공하는 직선측정도구(linear measurement tool)를 이용하여, 수동으로 각막 중심부의 외측경계에서부터 내측경계까지 수직선을 그어 측정하였다. Spectralis OCT[®]는 anterior segment module을 이용하여 촬영하였으며 한 이미지당 19 ms의 시간이 소요되는 고해상도 모드를 이용하였다. 이미지 분석을 통한 각막중심두께 측정은 Heidelberg사에서 제공하는 SD OCT software를 이용하여 상을 800배 확대한 뒤, 각막 중심의 외측 경계부터 내측 경계까지의 수직거리를 직선측정도구를 이용하여 검사자가 측정하였다. 초음파 각막측정계 검사는 가장 마지막에 시행하였으며 환자를 똑바로 누운 상태에서 비측정안을 정면주시시킨 후 초음파 각막측정계의 소식자를 각막 중심에 수직으로 접촉하여 측정하였다. 초음파각막측정계의 경우 총 3회의 검사 결과를 평균치로 하였고, 이를 제외한 모든 검사는 한 명의 숙련된 검사자에 의해 2회씩 시행되었으며 측정된 값의 평균을 구하여 측정치로 하였다. 각 측정장비로 측정된 측정치에 대한 검사자 내 반복성은 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)를 계산하여 평가하였다.

네 가지 검사기기로 측정된 중심각막두께 측정값은 repeated-measures analysis of variance (ANOVA)를 이용하여 비교하였고, Bonferroni post hoc analysis를 이용하여 사후 분석을 시행하였다. 네 검사 방법 간의 일치도는 Bland-Altman plot을 이용하여 분석하였고, Pearson correlation을 통하여 각 측정치 간의 상관관계를 알아보았다. 통계 분석은 SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였고 $p < 0.05$ 일 경우 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다. 본 연구는 본원 의학연구심의위원회의 심의를 거쳤으며(2016-04-015-002) 지원자들의 동의서를 받은 후 진행되었다.

Table 1. Mean CCT measured by Cirrus OCT®, Spectralis OCT®, Pentacam® and USP®

Methods	Mean ± SD (μm)	Range (μm)	p-value*
Cirrus OCT®	549.2 ± 28.7	500.0-598.0	<0.001
Spectralis OCT®	545.2 ± 25.4	502.0-585.0	
Pentacam®	554.0 ± 27.8	508.0-600.0	
USP	548.4 ± 27.9	504.0-593.0	

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

CCT = central corneal thickness; OCT = optical coherence tomography; USP = ultrasound pachymetry; SD = standard deviation.

*Repeated-measures analysis of variance (ANOVA).

Table 2. Pairwise comparison of central corneal thickness measurements

	MD ± SD (μm)	Max. of MD (μm)	Min. of MD (μm)	p-value*
Spectralis OCT®-Cirrus OCT®	-4.00 ± 7.07	16.0	-15.0	0.031†
Spectralis OCT®-Pentacam®	-8.81 ± 5.84	2.0	-21.0	<0.001†
Spectralis OCT®-USP	-3.22 ± 9.05	16.0	-25.0	0.537
Cirrus OCT®-Pentacam®	-4.81 ± 6.66	6.0	-24.0	<0.001†
Cirrus OCT®-USP	0.78 ± 6.88	13.0	-18.0	0.525
Pentacam®-USP	5.59 ± 8.20	24.0	-16.0	0.001†

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

MD = Mean difference; SD = standard deviation; Max. = Maximum; Min. = Minimum; OCT = optical coherence tomography; USP = ultrasound pachymetry.

*Repeated-measures analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post hoc analysis; †Mean central corneal thickness was statistically significantly different between two groups.

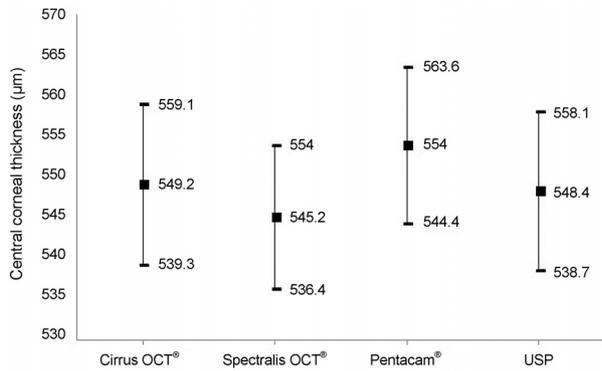


Figure 1. Mean and 95% confidence interval of central corneal thickness by Cirrus OCT®, Spectralis OCT®, Pentacam®, USP. OCT = optical coherence tomography; USP = ultrasound pachymetry.

Table 3. Intraexaminer repeatability of each methods for CCT measurement

Methods	ICC (95% CI)
Cirrus OCT®	0.994 (0.988-0.997)
Spectralis OCT®	0.991 (0.982-0.996)
Pentacam®	0.986 (0.972-0.993)
USP	0.990 (0.981-0.995)

CCT = central corneal thickness; ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval; OCT = optical coherence tomography; USP = ultrasound pachymetry.

결 과

전체 연구 대상은 성인 32명의 32안으로 이 중 남성이 14명, 여성이 18명이었고 평균 나이는 32.1 ± 5.5 세였다. 실험안은 우안이 15안, 좌안이 17안이었다. Cirrus OCT®, Spectralis OCT®, Pentacam®, 초음파각막측정계로 측정된 평균 중심각막두께는 각각 $549.2 \pm 28.7 \mu\text{m}$, $545.2 \pm 25.4 \mu\text{m}$, $554.0 \pm 27.8 \mu\text{m}$, $548.4 \pm 27.9 \mu\text{m}$ 로 Pentacam®으로 측정된 중심각막두께가 가장 두꺼웠고 Spectralis OCT®로 측정된 결과가 가장 얇았으며, 각 측정치 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$) (Table 1). 측정치 간의 차이는 Bonferroni 사후분석을 통하여 비교하였는데, Spectralis OCT®와 초음파각막측정계($p = 0.537$), Cirrus OCT®와 초음파각막측정계($p = 0.525$)를 제외하고 모두 측정값 사이에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(spectralis OCT® vs. Cirrus OCT®: $p = 0.031$, Spectralis OCT® vs. Pentacam®: $p < 0.001$, Cirrus OCT® vs. Pentacam®: $p < 0.001$, Pentacam® vs. USP: $p = 0.001$) (Table 2). Fig. 1은 각 측정 장비로 측정된 평균각막두께와 95% 신뢰구간을 보여주고 있다. 네 가지 측정 장비의 중심각막두께 측정에 대한 반복성을 평가한 결과 급내상관계수는 Cirrus OCT®는 0.994, Spectralis OCT®는 0.991, Pentacam®은 0.986, 초음파각막측정계는 0.990으로 네 장비 모두 높은 반복성을 보였다(Table 3). 모든 측정치는 서로 통계적으로 유의하게 높은 상관관계를 보였으며(Pearson correlation, Spectralis

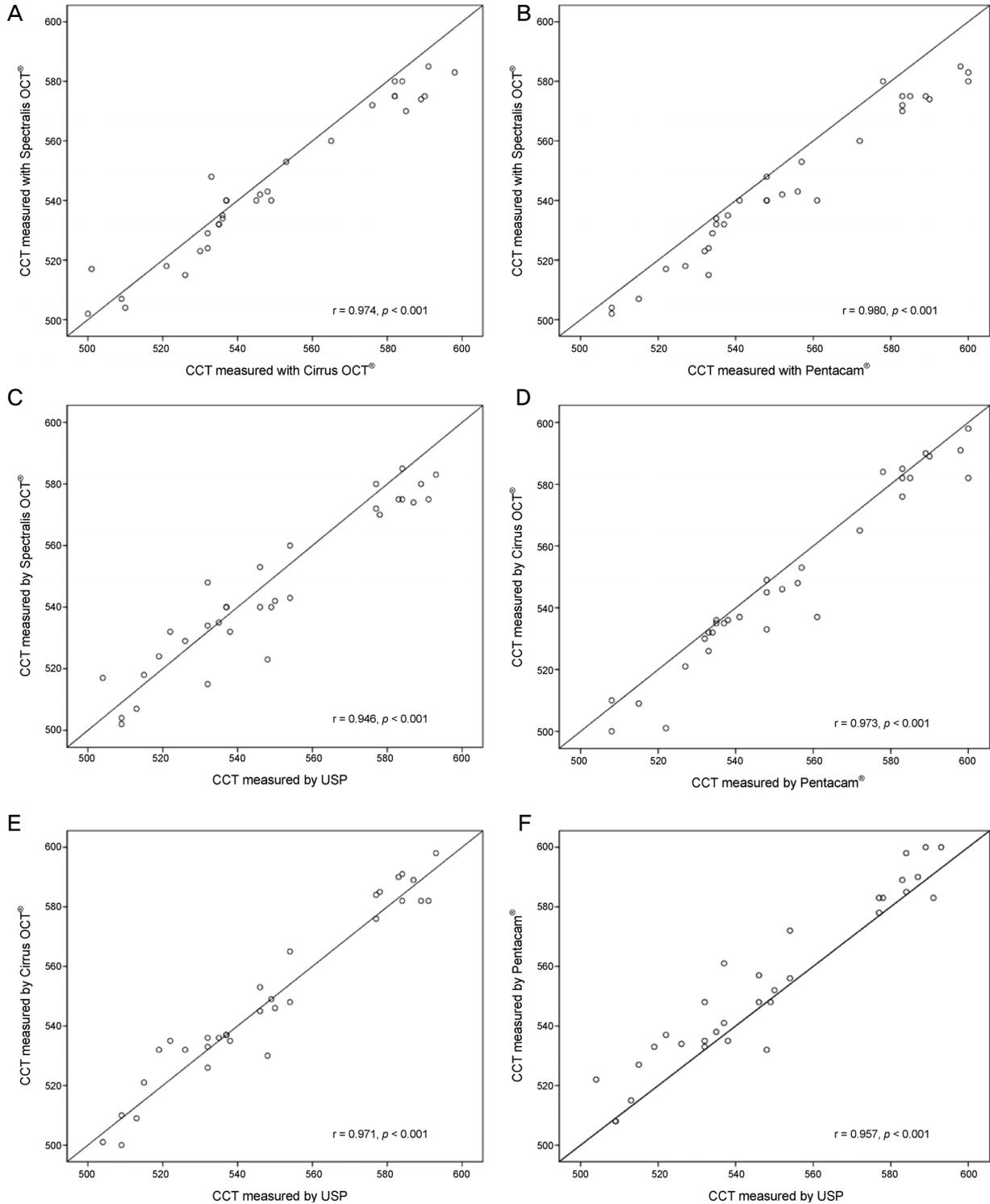


Figure 2. Scatter plots of central corneal thickness (μm) between 4 methods. (A) Spectralis OCT[®] and Cirrus OCT[®], (B) Spectralis OCT[®] and Pentacam[®], (C) Spectralis OCT[®] and USP, (D) Cirrus OCT[®] and Pentacam[®], (E) Cirrus OCT[®] and USP, (F) Pentacam[®] and USP. CCT = central corneal thickness; OCT = optical coherence tomography; USP = ultrasound pachymetry.

OCT[®] vs. Cirrus OCT[®]: $r=0.974$, Spectralis OCT[®] vs. Pentacam[®]: $r=0.980$, Spectralis OCT[®] vs. USP: $r=0.946$, Cirrus OCT[®] vs. Pentacam[®]: $r=0.973$, Cirrus OCT[®] vs. USP: $r=0.971$, Pentacam[®]

vs. USP: $r=0.957$, all p -value<0.001) (Fig. 2), 네 가지 검사 방법 간 일치도 분석 결과 Cirrus OCT[®]와 Spectralis OCT[®] 간의 95% 일치도 범위는 $27.70 \mu\text{m}$ ($-17.95\sim 9.85$), Cirrus OCT[®]와

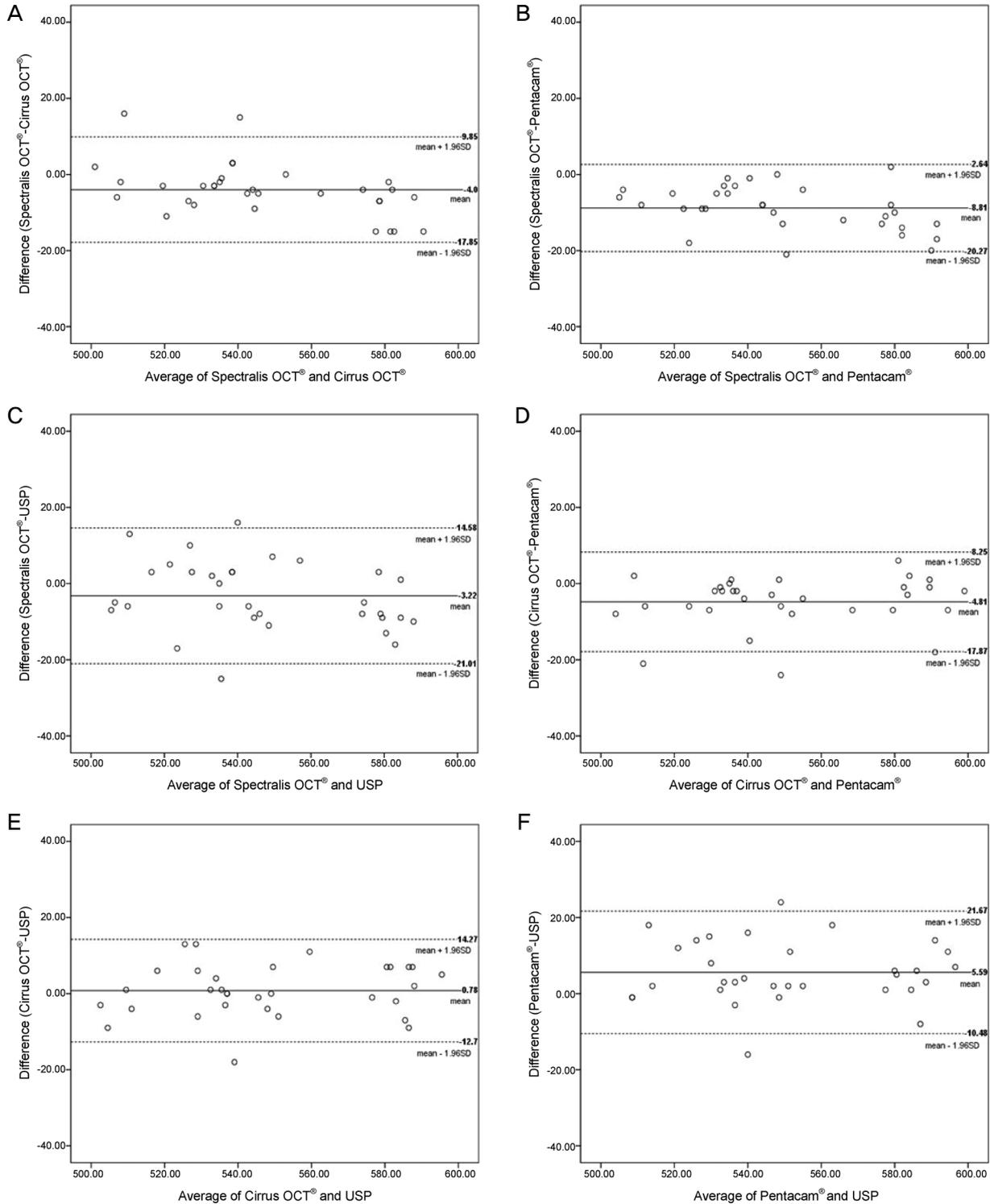


Figure 3. Bland-Altman plot of central corneal thickness (μm) between 4 methods. (A) Spectralis OCT[®] and Cirrus OCT[®], (B) Spectralis OCT[®] and Pentacam[®], (C) Spectralis OCT[®] and USP, (D) Cirrus OCT[®] and Pentacam[®], (E) Cirrus OCT[®] and USP, (F) Pentacam[®] and USP. OCT = optical coherence tomography; USP = ultrasound pachymetry; SD = standard deviation.

Pentacam[®]은 26.12 μm (-17.87~8.25), Cirrus OCT[®]와 초음파 각막측정계는 26.97 μm (-12.70~14.27), Spectralis OCT[®]와 Pentacam[®]은 22.91 μm (-20.27~2.64), Spectralis OCT[®]와

초음파각막측정계는 35.59 μm (-21.01~14.58), Pentacam[®]과 초음파각막측정계는 32.15 μm (-10.48~21.67)였다. 일치도 범위는 Spectralis OCT[®]와 초음파각막측정계 사이에서

가장 컸고, 그 다음으로 Pentacam[®]과 초음파각막측정계 사이에서 크게 나타났으며, Spectralis OCT[®]와 Pentacam[®] 사이에서 가장 작게 나타났다(Fig. 3).

고 찰

정확한 각막두께 측정은 굴절 수술이 발달함에 따라 안과 영역에서 더욱 중요하게 되었다. 특히 각막 두께를 실제 값보다 두껍게 측정하는 경우 과교정에 따른 의인성 각막 확장질환의 위험이 있어 주의를 요하며, 실제 값보다 얇게 측정하는 경우 굴절수술이 가능한 환자를 수술할 수 없는 환자로 오인할 수 있다. 또한 메타 분석 연구에서 중심각막 두께가 10% 변함에 따라 3.4 mmHg 정도 안압이 변한다고 보고한 바도 있어 녹내장 환자에서도 중심각막두께의 정확한 측정은 필수적이다.⁷

초음파각막측정계 검사는 간편하게 시행할 수 있으며 상대적으로 정확도가 높고 검사 비용이 저렴하여 현재 표준 검사로 간주된다.⁸ 그러나 초음파각막측정계 검사는 각막에의 접촉이 필요하고 검사 전 점안마취제를 사용하여 환자에게 불편감을 초래할 수 있으며, 검사자가 각막 중심을 잘 판단하여 시행하여야 하므로 접촉할 때의 압력과 측정 위치, 측정자에 따라 측정값에 차이가 있을 수 있다. 때문에 최근 다양한 원리와 측정 방법을 이용하여 비접촉식으로 중심각막두께를 측정할 수 있는 여러 기기들이 개발되어 임상에서 사용되고 있으며, 망막 두께를 측정하기 위해 개발되었던 빛간섭단층촬영기에서도 초점을 변경하여 중심각막두께를 켈 수 있게 되었다. 이전의 여러 연구에서 이러한 기기들의 측정값을 비교하고 상관 관계를 고찰하였으나,⁹⁻¹² 이들 중 현재 널리 사용되고 있는 빛간섭단층촬영기인 Cirrus OCT[®]와 Spectralis OCT[®] 및 Pentacam[®], 초음파각막측정계의 측정값을 비교한 연구는 없었다. 각 병원에서 현실적으로 모든 장비를 갖추기 어려우므로 각각 다른 기기로 측정한 측정 자료를 비교하여 임상에서 참고할 수 있도록 하고자 본 연구를 시행하였다.

본 연구에서 중심각막두께는 Pentacam[®], Cirrus OCT[®], 초음파각막측정계, Spectralis OCT[®] 순으로 두껍게 측정되었고, 각 측정값은 Pentacam[®]이 Cirrus OCT[®]에 비하여 4.00 μm 컸으며, Cirrus OCT[®]는 초음파각막측정계에 비하여 0.78 μm , 초음파각막측정계는 Spectralis OCT[®]에 비해 3.22 μm 크게 측정되었다. Pentacam[®]과 Spectralis OCT[®] 사이의 평균 두께 차이가 가장 컸으며 Pentacam[®]이 Spectralis OCT[®]에 비하여 8.81 μm 두껍게 측정되었다(Table 1). Al-Mezaine et al¹³에 따르면 초음파각막측정계에 비하여 Pentacam[®]으로 측정했을 경우 측정값이 8.2 μm 크게 측정되었고, 각 기

기의 측정값 사이에는 높은 상관관계($r=0.912$, $p<0.001$)가 관찰되었다. 본 연구에서도 역시 Pentacam[®]으로 측정된 중심각막두께가 5.59 μm 더 두껍게 측정되었고 두 기기 간 강한 상관 관계를 보였으며 95% 일치도 범위는 32.15 μm 로 이전 연구와 비슷한 결과를 나타내었다(Table 1, Fig. 2, 3).

빛간섭단층촬영기는 초음파 B-scan과 유사한 원리로 조직내에서 반사되는 빛의 시간 차이를 광학적 간섭계를 사용하여 전안부 및 망막의 고해상도 횡단영상을 얻을 수 있는 진단기기이다. 1994년 빛간섭단층촬영의 전안부 영상화의 가능성이 제기된 후 많은 연구자들이 기존에 망막 및 녹내장 영역에서 사용되던 빛간섭단층촬영기를 전안부 병변의 진단의 이용할 가능성에 대하여 연구한 바 있다.¹⁴⁻¹⁶ Bechmann et al¹⁴은 빛간섭단층촬영기를 통해 얻은 중심각막두께가 초음파 각막측정계와 유사한 각막측정계와 유사한 결과를 나타냈으며 재현성과 정확성이 좋았다고 보고하였다. Bechmann et al¹⁴의 연구에서는 망막 두께 측정을 위해 만들어진 빛간섭단층촬영기(Humphrey Instruments, Dublin, CA, USA)와 초음파 각막측정계로 측정된 정상안의 중심각막두께를 비교하였는데, 빛간섭단층촬영기로 측정하였을 때 초음파 각막측정계로 측정하였을 때보다 41 μm 저측정된 결과를 보였다. 반면에 Leung et al¹⁰은 정상안을 대상으로 하여 중심각막두께를 비교하였을 때 빛간섭단층촬영기(Humphrey Instruments, Dublin, CA, USA)로 측정된 측정치가 초음파 각막측정계로 측정했을 때보다 더 높았음을 보고하여 상반된 결과를 나타내었다. 국내에도 정상안에서 빛간섭단층촬영과 초음파각막측정계로 중심각막두께를 측정 비교한 연구들이 있는데, Kim et al¹⁷은 전안부 빛간섭단층촬영기로 측정하였을 때 5.73 μm 저측정되었다고 보고하였으며, Yang and Koh¹⁸의 연구에서도 역시 Cirrus OCT[™]로 측정하였을 때 11.14 μm 얇게 측정되었다고 하였다. 본 연구에서 Cirrus OCT[®]는 초음파 각막측정계보다 중심각막두께를 0.78 μm 정도 높게 측정하였고 Spectralis OCT[®]는 3.22 μm 얇게 측정하였으나 차이는 모두 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다(Table 2). 일치도 분석 결과 95% 일치도 범위는 Spectralis OCT[®]와 초음파각막측정계는 35.59 μm , Cirrus OCT[®]와 초음파각막측정계는 26.97 μm 로 상대적으로 일치도가 높지는 않아 상호 호환하여 사용하기는 어려울 것으로 보인다(Fig. 3). Cirrus OCT[®]와 Spectralis OCT[®]의 측정치 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있고 기기 간 95% 일치도 범위가 27.70 μm 로 결과를 해석할 때 기종에 따른 차이를 고려해야 할 것으로 생각한다(Fig. 3).

Fu et al¹⁹은 한 연구에서 Pentacam[®]과 전안부 빛간섭단층촬영계를 이용하여 전안부 질병이 없는 50안에서 중심각

막두께를 측정하였는데, Pentacam[®]으로 측정된 중심각막두께가 전안부 빛간섭단층촬영기에 의한 측정값보다 18.53 μm 더 두껍게 측정되었으며 두 기기 간 95% 일치도 범위는 34.7 μm 로 넓게 나타났다. 본 연구에서 측정된 중심각막두께 역시 Pentacam[®]으로 측정하였을 때 Spectralis OCT[®]에 비하여 8.81 μm , Cirrus OCT[®]에 비하여 4.81 μm 두껍게 측정되었다(all *p*-value<0.001) (Table 2). Spectralis OCT[®]와 Pentacam[®]의 일치도 범위는 22.91 μm 였으며, Cirrus OCT[®]와 Pentacam[®]은 26.12 μm 로 나타나 이전에 수행되었던 연구 결과와 비슷한 양상을 보였다(Fig. 3). 중심각막두께가 프로그램에 의하여 자동적으로 측정되는 Pentacam[®]과 달리 본 연구에 사용된 두 가지 빛간섭단층촬영기기는 각막의 촬영을 통해 얻은 이미지를 수동으로 측정하는 방식이므로 측정자에 따라 측정값이 조금씩 달라질 가능성이 있어 해석에 주의를 요한다.

본 연구에서 초음파각막측정계에 비하여 Pentacam[®]으로 측정된 중심각막두께는 좀 더 두껍게 측정되었고, Spectralis OCT[®]로 측정된 중심각막두께는 좀 더 얇게 측정되었으며 Cirrus OCT[®]는 거의 비슷하였다. 이러한 측정 결과의 차이를 설명할 수 있는 원인에 대하여 아직 명확하게 밝혀진 바는 없다. 그러나 가장 가능성이 높은 원인은 각 기기 간 측정 방법의 차이일 것이다. 빛간섭단층촬영기의 경우 각막의 전면과 후면에서 반사되는 빛을 이용하는 반면, 초음파각막측정계의 경우 음파의 반사점이 각막 후면의 밝혀지지 않은 어떤 지점에 존재하며, 한 연구에서는 이 반사점이 데스메막과 전방 사이에 위치할 것이라고 추측하였으며,²⁰ 이러한 이유로 초음파각막측정계가 다른 검사 기기들에 비해 중심각막두께를 저평가했을 가능성이 있다. 반면 Pentacam[®]은 눈물층을 포함하여 각막두께를 측정하기 때문에 초음파각막측정계를 포함한 다른 검사에 비하여 중심각막두께를 두껍게 측정하는 것으로 보인다. Spectralis OCT[®]와 Cirrus OCT[®]의 경우 중심각막두께의 측정 원리는 같지만 Spectralis OCT[®]는 측정상도가 3.9 μm 이고 Cirrus OCT[®]는 5.0 μm 로 이러한 장비 간 차이에 의해 중심각막두께 측정치의 차이가 발생했을 것이라 생각한다. Cirrus OCT[®]와 Spectralis OCT[®]는 안과 영역에서 보편적으로 사용되고 있는 빛간섭단층촬영기로서 이전에 이 두 가지를 이용하여 측정된 중심각막두께를 비교한 연구가 없었고, 현실적으로 각 병원이 모든 종류의 빛간섭단층촬영 장비를 갖추기 어렵기 때문에 본 논문의 결과는 의의가 있다고 생각된다.

본 연구의 제한점은 표본 크기가 상대적으로 작고 병원 내원객 중 일부 지원자를 대상으로 하였으므로 선택 비뮴림의 가능성이 있다는 점이다. 본 연구 대상자의 평균 연령은 32세로, 모집단을 대변하지 못한다. 그러나 본 연구의

목적이 같은 표본에서 다른 기기로 측정된 측정값 사이의 비교라는 점을 생각하면 결과 해석과는 큰 관계가 없을 것이라고 생각한다.

결론적으로 네 가지 기기로 측정된 중심각막두께의 측정값은 서로 강한 상관관계를 보이거나 일치도 범위가 넓어서 호환하여 사용하기는 어려울 것으로 보인다. 다만 두 가지 빛간섭단층촬영기로 측정된 중심각막두께의 측정값은 초음파 각막측정계로 측정된 측정값과 유사한 값을 보이며 전안부 촬영에 특화된 모델이 아니라고 하더라도 임상에서 중심각막두께를 측정하는 데에 무리가 없을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- 1) Faucher A, Grégoire J, Blondeau P. Accuracy of Goldmann tonometry after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 1997;23:832-8.
- 2) Fournier AV, Podtetenov M, Lemire J, et al. Intraocular pressure change measured by Goldmann tonometry after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:905-10.
- 3) Chang DH, Stulting RD. Change in intraocular pressure measurements after LASIK the effect of the refractive correction and the lamellar flap. *Ophthalmology* 2005;112:1009-16.
- 4) Barkana Y, Gerber Y, Elbaz U, et al. Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system, optical low-coherence reflectometry pachymeter, and ultrasound pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:1729-35.
- 5) Miranda MA, Radhakrishnan H, O'Donnell C. Repeatability of corneal thickness measured using an Oculus Pentacam. *Optom Vis Sci* 2009;86:266-72.
- 6) Solomon OD. Corneal indentation during ultrasonic pachometry. *Cornea* 1999;18:214-5.
- 7) 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.
- 8) Ling T, Ho A, Holden BA. Method of evaluating ultrasonic pachometers. *Am J Optom Physiol Opt* 1986;63:462-6.
- 9) Amano S, Honda N, Amano Y, et al. Comparison of central corneal thickness measurements by rotating Scheimpflug camera, ultrasonic pachymetry, and scanning-slit corneal topography. *Ophthalmology* 2006;113:937-41.
- 10) Leung DY, Lam DK, Yeung BY, Lam DS. Comparison between central corneal thickness measurements by ultrasound pachymetry and optical coherence tomography. *Clin Exp Ophthalmol* 2006;34:751-4.
- 11) Li H, Leung CK, Wong L, et al. Comparative study of central corneal thickness measurement with slit-lamp optical coherence tomography and visante optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2008;115:796-801.e2.
- 12) Rosa N, Lanza M, Borrelli M, et al. Comparison of central corneal thickness measured with Orbscan and Pentacam. *J Refract Surg* 2007;23:895-9.
- 13) Al-Mezaine HS, Al-Amro SA, Kangave D, et al. Comparison between central corneal thickness measurements by oculus pentacam and ultrasonic pachymetry. *Int Ophthalmol* 2008;28:333-8.
- 14) Bechmann M, Thiel MJ, Neubauer AS, et al. Central corneal thickness measurement with a retinal optical coherence tomography de-

vice versus standard ultrasonic pachymetry. *Cornea* 2001;20:50-4.

15) Fishman GR, Pons ME, Seedor JA, et al. Assessment of central corneal thickness using optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:707-11.

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) 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;53:1412-18.

18) Yang YS, Koh JW. Utility of the noncontact specular microscopy for measurements of central corneal thickness. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:59-65.

19) Fu J, Wang X, Li S, et al. Comparative study of anterior segment measurement with Pentacam and anterior segment optical coherence tomography. *Can J Ophthalmol* 2010;45:627-31.

20) Azen SP, Burg KA, Smith RE, Maguen E. A comparison of three methods for the measurement of corneal thickness. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1979;18:535-8.

= 국문초록 =

두 가지 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기, 펜타캠, 초음파각막측정계로 측정된 중심각막두께 비교

목적: 정상안에서 두 가지 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기(optical coherence tomography, OCT), Pentacam®, 초음파각막측정계로 측정된 중심각막두께(central corneal thickness, CCT)를 비교하고자 하였다.

대상과 방법: 전안부 질환이 없는 건강인 32명을 대상으로 Cirrus OCT®, Spectralis OCT®, Pentacam®, 초음파각막측정계를 통하여 중심각막두께를 측정하고 각 장비 간 측정값을 비교하였다.

결과: Cirrus OCT®, Spectralis OCT®, Pentacam®, 초음파각막측정계(ultrasound pachymetry, USP)로 측정된 평균 중심각막두께는 각각 549.2 ± 28.7 μm, 545.2 ± 25.4 μm, 554.0 ± 27.8 μm, 548.4 ± 27.9 μm였다. 모든 측정치는 서로 통계적으로 유의하게 높은 상관관계를 보였으나(Pearson correlation coefficient r>0.9, all p-value<0.001) 각 측정치 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.001). 네 가지 검사 방법 간 일치도 분석 결과 Cirrus OCT®와 Spectralis OCT® 간의 95% 일치도 범위는 27.70 μm, Cirrus OCT®와 Pentacam®은 26.1 μm, Cirrus OCT®와 초음파각막측정계는 26.97 μm, Spectralis OCT®와 Pentacam®은 22.91 μm, Spectralis OCT®와 초음파각막측정계는 35.59 μm, Pentacam®과 초음파각막측정계는 32.15 μm였다.

결론: 네 가지 기기를 이용한 중심각막두께의 측정값들은 서로 강한 상관관계를 보였으나 초음파각막측정계에 비하여 Pentacam®의 경우 유의하게 두껍게 측정되었고, 두 가지 빛간섭단층촬영기(OCT)로 측정된 측정값은 초음파각막측정계로 측정된 값에 좀 더 유사한 값을 나타내어 중심각막두께 측정 결과 적용 시 이에 대한 고려가 필요하며 각 기기들의 측정값 사이에는 차이가 있어 호환하여 사용하기 어려울 것으로 보인다.

〈대한안과학회지 2016;57(10):1527-1534〉