

Comparison of Central Corneal Thickness Generated by Noncontact Tono-Pachymetry, a Rotating Scheimpflug Camera, Optical Coherence Tomography, and Noncontact Specular Microscopy

Hee Song Kim^{1,a} and Hyojin Kim^{2,3,b,*}

¹Dept. of Optometry, Graduate School of Health and Welfare, Baekseok University, Student, Seoul 06695, Korea

²Dept. of Optometry, Baekseok University, Professor, Cheonan 31065, Korea

³Dept. of Optometry, Graduate School of Christian Studies, Baekseok University, Professor, Seoul 06695, Korea

(Received May 3, 2024; Revised June 17, 2024; Accepted June 19, 2024)

Purpose: The aim of this study was to compare younger adult central corneal thickness (CCT) measurements generated by four noncontact measuring devices. **Methods:** From March 2023 to April 2023, 56 students from the University in Chungcheongnam-do were examined. The students were an average age of 23.5 ± 2.2 years, and comprised 26 males and 30 females. CCT was measured using four noncontact devices (HNT-1P, Pentacam, HOCT-1, and CEM-530), and the results were compared. The same examiner measured the CCT in the following order of techniques: noncontact tonometer, rotating scheimpflug camera, optical coherence tomography, and noncontact specular microscopy. The agreement and correlation of the measured values were then compared between the devices. The four noncontact devices were used in the following order: HNT-1P, Pentacam, HOCT-1F, and CEM-530. **Results:** The measured CCT in right eyes was $572.5 \pm 30.9 \mu\text{m}$, $571.8 \pm 30.0 \mu\text{m}$, $569.4 \pm 30.0 \mu\text{m}$, and $569.4 \pm 329 \mu\text{m}$ when using HNT-1P, Pentacam, HOCT-1, and CEM-530, respectively. No statistically significant differences were observed between all measurements. The measured CCT agreement range was the largest between HNT-1P and HOCT-1 and was the smallest between Pentacam and CEM-530. All measurements showed statistically high correlation with each other (Pearson correlation coefficient $r > 0.7$, all p -value < 0.001). **Conclusions:** The CCT measurements decreased in the following order according to the noncontact device used: HNT-1P, Pentacam, CEM-530, and HOCT-1. However, no statistically significant differences were observed between the four devices, and all correlations among the four devices were highly positive.

Key words: Central corneal thickness, Noncontact tonometer, Rotating scheimpflug camera, Optical coherence tomography, Noncontact specular microscopy

서 론

중심각막두께(central corneal thickness, CCT)는 각막굴절교정수술이나 백내장수술 환자의 수술 전과 후의 상태를 평가하는데 중요한 지표로 다양한 안과적 질환을 진단하는 데 사용된다. 각막굴절교정수술의 수술 전 검사에서 환자의 각막 상태에 맞는 적절한 수술 방법과 수술 조건을 정하기 위한 필수 항목이며, 수술 후 생길 수 있는 각막확장증 등과 같은 합병증을 줄이기 위해 고려해야 할 중요한 항목이다.^[1,2]

CCT는 측정 방식에 따라 접촉식과 비접촉식 방법으로 측정할 수 있다. 접촉식 방법으로 가장 대표적인 표준검사는

초음파 각막측정계(Ultrasound pachymetry, USP)가 널리 사용되고 있다. 그러나 USP는 피검사자의 각막에 직접 접촉해야 하는 방법으로 피검사자에게 불편함을 유발하거나 검사자의 숙련도에 따라 측정값에 오차가 발생할 수 있으며, 접촉에 의한 각막상피의 손상과 감염이 발생할 수 있다. 이러한 이유로 각막에 접촉하지 않는 비접촉식 방법으로 CCT를 측정하기 위해 다양한 장비들이 계속 개발되고 있다.

비접촉식으로 CCT를 측정하는 장비는 전안부 빛간섭단층촬영계(Anterior-segment optical coherence tomography, AS-OCT), 파장가변 빛간섭단층촬영계(Swept-source optical coherence tomography, SS-OCT), 회전사임플러그 카메라(Rotating scheimpflug camera, RSC)를 이용한 Pentacam

본 논문은 김희송의 석사학위 논문의 일부 발췌 논문임/본 논문의 일부내용은 2023년도 한국안광학회 하계학술대회에서 구연으로 발표되었음

*Corresponding author: Hyojin Kim, TEL: +82-41-550-2841, E-mail: khj@bu.ac.kr

Authors ORCID: ^ahttps://orcid.org/0009-0008-4387-7239, ^bhttps://orcid.org/0000-0001-7703-5170

(Oculus, Wetzler, Germany)과 이중샤임플러그 카메라(Dual rotating scheinpflug camera, DRSC) 방식인 Galilei G4 (Ziemer, Port, Switzerland), Orbscan II(Bausch & Lomb, Rochester, USA), 그리고 비접촉안압계(Noncontact tonopachymeter, NT) 등이 있다.^[3-6] 선행연구에서는 여러 가지 비접촉식 장비가 나오자 임상에 도움을 주기 위해 측정된 CCT 간에 대체 사용이 가능한지 비교하였다.^[3,4] Kim 등^[4]은 건강한 성인을 대상으로 Orbscan II, AS-OCT, SS-OCT, USP로 측정한 CCT를 비교하여 네 가지 검사 기기에서 높은 상관관계가 있다고 보고하였다. 또한, 그들의 결과에서 SS-OCT는 USP와 가장 높은 일치율을 보였다.^[4] Woo 등^[3]은 AS-OCT, Galilei G4와 USP의 결과를 비교하였고 그 결과, 세 가지 기기에서 높은 상관성을 보였으나 AS-OCT는 Galilei G4보다 조금 얇게 측정되었고, Galilei G4는 USP에 조금 더 유사한 값을 나타내어 임상에서 결과 해석 시 이에 대한 고려가 필요하다고 주장하였다.^[3] 그 외에도 비접촉식 방법인 OCT, Pentacam, Galilei G4로 측정한 CCT와 USP의 상관관계를 분석한 이전연구들이 있다.^[7-10]

그러나 NT와 비접촉경면현미경(Noncontact specular microscopy, NSM)과 같은 새로운 비접촉식 장비를 포함하여 CCT 측정을 비교한 연구는 드물다. 게다가, CCT를 비교한 많은 선행연구는 중장년층과 노년층을 대상으로 시

행되어 CCT 값이 필수적으로 요구되는 각막굴절교정수술의 주요 후보자인 건강한 20대를 대상으로 시행된 연구는 부족한 실정이다. NT와 NSM은 CCT의 측정과 함께 각각 안압과 각막내피세포 값을 빠르고 간단하게 제공한다. 또한, NT는 CCT 측정 기능을 겸비하고 있는데 이는 CCT의 측정값에 따라 교정된 안압 값을 제공하는데 활용된다.^[1,2] 본 연구는 20대를 대상으로 비접촉식 방법에 초점을 맞추어 NT, RSC, OCT, NSM을 이용하여 CCT를 측정하고 네 가지 기기로 측정한 CCT값 간의 일치도와 상관관계를 분석하였다.

대상 및 방법

본 연구는 백석대학교 기관 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받고(승인번호 BUIRB-202303-HR-004), 대상자에게 연구의 목적과 내용을 설명하고 동의를 구한 후에 진행하였다. 연구대상자는 2023년 3월부터 2023년 4월까지 충청남도 에 있는 일개 대학교 대학생 56명을 대상으로 하였다. 최대 교정시력이 0.8 미만, 각막질환을 포함하여 안과적 질환, 안외상이나 각막굴절 교정수술, 기타 안과수술 과거력, 안압 21 mmHg 이상, 최근 1달 이내에 국소 안약 제제의 사용, 그리고 2주 이내에

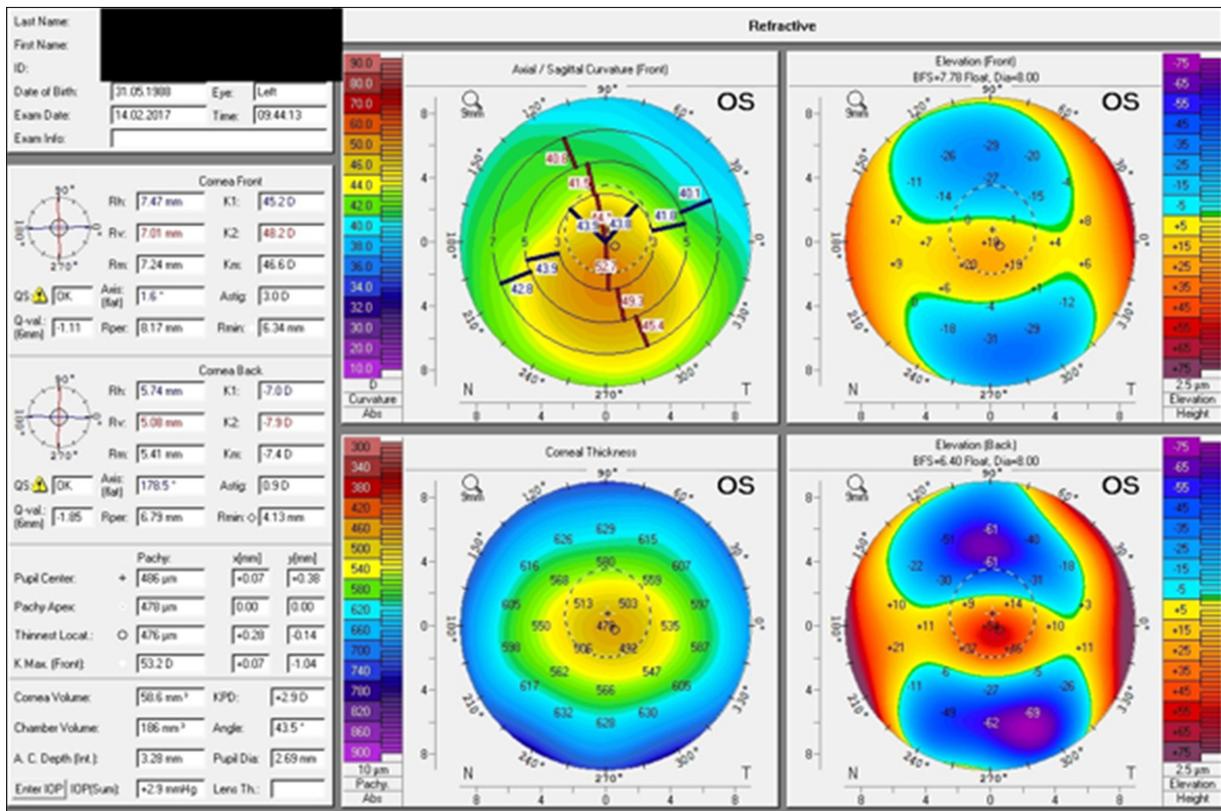


Fig. 1. Pentacam report showing corneal thickness images. Images courtesy of H Kim.

콘택트렌즈를 착용한 적이 있는 경우는 대상에서 제외하였다.^[7,11]

모든 대상자에게 연령, 성별, 굴절수술 유무와 콘택트렌즈 착용 과거력과 같은 일반적인 특성을 조사하였다. 이후 자동굴절검사기(HRK-8000A, Huvitz, Korea)를 사용하여 굴절상태를 확인하고 시험테와 시험렌즈를 이용하여 최대교정시력을 측정하였다. 다음은 HNT-1P(Huvitz, Anyang-si, Korea)를 이용하여 안압을 측정하였고, 모든 검사는 동일 검사자가 우안과 좌안 순서로 측정하였다.

네 가지 기기를 이용한 CCT 측정은 각막 전면 상피의 중앙에서 후면 내피의 중앙까지의 거리를 측정하였고, 모든 검사는 반암실에서 산동하지 않고 시행하였다. 동일 검사자에 의해 검사 순서는 NT, RSC, OCT, NSM 순서로 우안 측정 후 좌안으로 진행하였다.

NT은 HNT-1P(Huvitz, Korea) 기기를 사용하였고, 대상자의 턱과 이마를 검사대에 고정하고 기계가 동공 중심부에 초점이 오도록 일치될 때 자동으로 3회 측정되어 평균값을 사용하였다. RSC는 Pentacam(Oculus, Germany)을 사용하였고, 대상자의 턱과 이마를 검사대에 고정한 후 기계와 연결된 모니터 상에서 붉은색의 십자 표시 선이 네 개의 흰 점 위에 놓이고, 붉은색의 가로선이 각막의 바깥쪽 경계에 닿을 때 측정하였다. Fig. 1은 Pentacam으로 측정한 각막지형도와 중심각막두께의 사진을 보여준다. OCT는 HOCT-1(Huvitz, Korea)을 사용하였고, 이마 받침대와 전안부 렌즈를 장착한 후 대상자의 턱과 이마를 검사대에 고정하고 측정방식을 전안부 모드로 전환 후 기계가 동공중심부에 초점이 위치한 상태에서 각막중심부로 들어오는 빛이 노란 중심선과 일치할 때 측정하였다. 특히 촬영된 각막중심부 중심부를 수동으로 다시 측정하고 그 수치를 기록하였다. NSM는 CEM-530(Nidek, Japan)을 사용하였고, 대상자의 턱과 이마를 검사대에 고정한 후 주시점을 보게 하여 기계를 각막중심부에 위치시키면 자동으로 초점을 맞추어 내피 영상이 측정되도록 하였다. Fig. 2는 OCT로 측정한 CCT이고, Fig. 3은 NSM로 측정한 각막내피세포와 CCT를 보여준다.



Fig. 2. HOCT-1 image showing manual corneal thickness measurement. Images courtesy of H Kim.

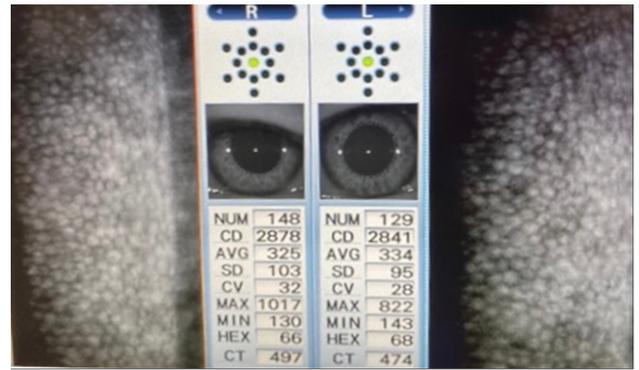


Fig. 3. CEM-530 image showing central corneal thickness measurements. Images courtesy of H Kim.

자료 분석은 SPSS 20.0(SPSS INC, USA) 프로그램을 사용하였다. 네 가지 검사기기로 측정된 CCT 측정값은 ANOVA를 이용하여 비교 분석하였고, Bonferroni multiple comparison test를 이용하여 사후검정을 시행하였다. 일치도는 Bland Altman plot을 이용하여 분석하였으며, Pearson correlation을 통하여 CCT 측정값 간의 상관관계를 알아보았다. $p < 0.050$ 일 경우 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 대상자의 일반적 특성

전체 대상자의 평균 연령은 23.5±2.2세로 남자는 26명(46.4%), 여자는 30명(53.6%)이었다. 평균 등가구면굴절력은 우안 -2.47±2.31D, 좌안 -2.32±2.55D이었고, 최대교정시력은 우안 0.96±0.20, 좌안 0.94±0.2이었으며, 평균 안압은 우안은 14.6±2.5 mmHg, 좌안은 14.6±2.3 mmHg이었다. 대상자 중 콘택트렌즈를 착용하는 사람은 18명(32.1%), 착용하지 않는 사람은 38명(67.9%)이었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of study subjects

		Mean±SD or N (%)
	Age (years)	23.5±2.2
Sex	Man	26 (46.4)
	Woman	30 (53.6)
Spherical equivalent (D)	OD	-2.47±2.31
	OS	-2.32±2.55
BVCA	OD	0.96±0.2
	OS	0.94±0.2
IOP (mmHg)	OD	14.6±2.5
	OS	14.6±2.3

SD: standard deviation

D: diopter

BCVA: best corrected visual acuity

IOP: intraocular pressure

Table 2. Comparison of right-eye and left-eye central corneal thickness measurements generated by four devices

	OD	OS	p-value
	Mean±SD		
HNT-1P (μm)	572.5±30.9	569.9±31.8	0.241
Pentacam (μm)	571.8±30.0	572.3±29.4	0.701
HOCT-1 (μm)	569.4±30.0	569.8±29.4	0.647
CEM-530 (μm)	569.4±32.9	567.7±37.4	0.479
p-value	0.885	0.900	

SD: standard deviation

2. 네 가지 비접촉식 기기로 측정된 CCT의 비교

HNT-1P로 측정된 CCT는 우안이 평균 572.5±30.9 μm, 좌안이 평균 569.9±31.8 μm이었고, Pentacam은 우안이 571.8±30.0 μm, 좌안이 572.3±29.4 μm이었다. HOCT-1로 측정된 CCT는 우안과 좌안이 각각 569.4±30.0 μm와 569.8±29.4 μm이었고, CEM-530은 우안이 569.4±32.9 μm, 좌안이 567.7±37.4 μm이었다. 네 가지 기기로 측정된

Table 3. Pairwise comparison of central corneal thickness measurements measured by four devices

	MD±SD (μm)	p-value
HNT-1P and Pentacam	0.72±19.77	0.786
HNT-1P and HOCT-1	4.01±20.38	0.147
HNT-1P and CEM-530	3.15±19.71	0.237
Pentacam and HOCT-1	3.29±14.37	0.093
Pentacam and CEM-530	2.43±11.21	0.111
HOCT-1 and CEM-530	-0.86±16.11	0.692

MD: mean difference, SD: standard deviation

CCT는 우안과 좌안에서 통계적으로 유의한 차이가 없었기 때문에 이후의 모든 분석은 우안 값을 활용하였다 (Table 2). 네 가지 비접촉식 기기로 측정된 우안의 CCT는 HNT-1P, Pentacam, 그리고 CEM-530 및 HOCT-1 순서로 낮게 측정되었으나 측정값 간에 차이가 크지 않아 통계적인 차이는 없었다($p=0.885$, Table 2, Fig. 4). 좌안의 결과도 네 가지 기기로 측정된 CCT는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p=0.900$, Table 2, Fig. 4).

3. 네 가지 비접촉식 기기로 측정된 CCT의 일치도

네 가지 기기로 측정된 CCT 값을 Bonferroni 사후분석을 이용하여 비교한 결과, 네 가지 측정값에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다 (Table 3).

또한, 기기 간 일치도를 분석한 결과, HNT-1P와 Pentacam 간의 95% 일치도 범위는 77.49 μm(-38.03~39.47), HNT-1P와 HOCT-1는 79.88 μm(-35.93~43.95), HNT-1P와 CEM-530은 77.26 μm(-35.48~41.78), Pentacam과 HOCT-1는 56.33 μm(-24.88~31.45), Pentacam과 CEM-530은 43.94 μm(-19.54~24.40), 그리고 HOCT-1와 CEM-530은 63.15 μm(-32.43~30.72)이었다 (Table 3). Fig. 5는 Bland-Altman 분석결과를 보여주며, 일치도 범위는 HNT-1P와 HOCT-1 사이에서 가장 컸고, Pentacam과 CEM-530에서 가장 작게 나타났다 (Fig. 5).

4. 네 가지 비접촉식 기기로 측정된 CCT의 상관관계

Fig. 6에 네 가지 비접촉식 기기로 측정된 CCT의 기기 간 상관분석을 나타내었다. 모든 CCT는 서로 통계적으로 유의하게 높은 상관관계를 보였으며, HNT-1P와 Pentacam은 $r=0.790(p<0.001)$, HNT-1P와 HOCT-1는 $r=0.772(p<0.001)$, HNT-1P와 CEM-530은 $r=0.811(p<0.001)$, Pentacam과 HOCT-1는 $r=0.882(p<0.001)$, Pentacam과 CEM-530은 $r=0.941(p<0.001)$, HOCT-1와 CEM-530은 $r=0.871(p<0.001)$ 이었다 (Fig. 6).

각막 두께를 측정하는 표준검사법으로 USP를 사용해

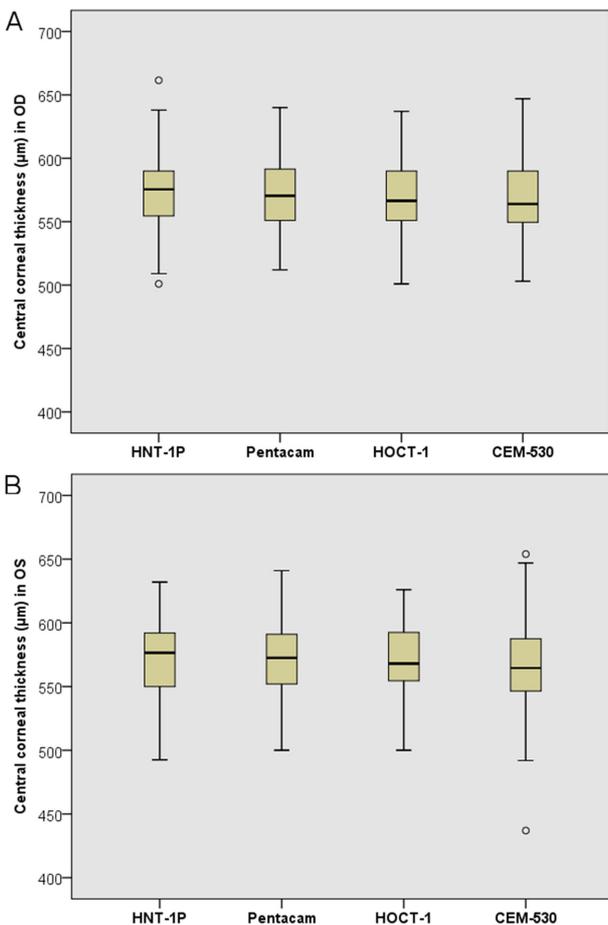


Fig. 4. Right-eye and left-eye central corneal thickness measurements generated by four noncontact devices. (A) OD, (B) OS.

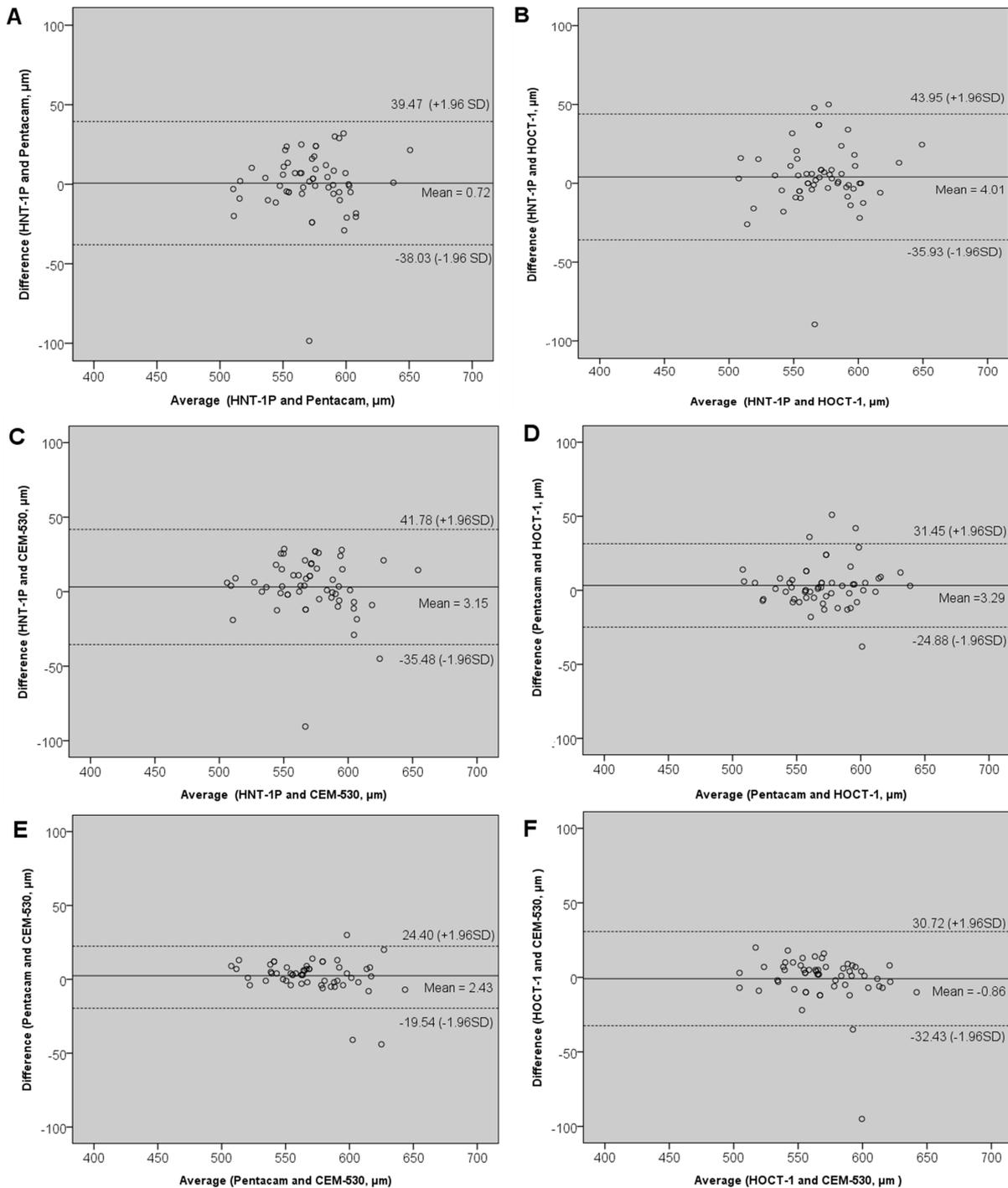


Fig. 5. Bland-Altman plots of central corneal thickness measurements generated by four noncontact devices. (A) HNT-1P and Pentacam, (B) HNT-1P and HOCT-1, (C) HNT-1P and CEM-530, (D) Pentacam and HOCT-1, (E) Pentacam and CEM-530, (F) HOCT-1 and CEM-530.

왔으나 USP는 측정 전 점안 마취가 필요하고, 검사자에 따른 측정값의 오차 발생, 각막 접촉에 따른 각막 상피 손상이나 감염 위험이 있을 수 있기 때문에 최근 다양한 측정 기기들이 개발되어 임상에서 사용되고 있다.^[3,4,7-10] 이에 본 연구는 서로 다른 네 가지 비접촉식 기기로 측정된 CCT 값을 비교하여 임상에서 사용할 때 도움을 주고자

하였다. 본 연구 결과, HNT-1P, Pentacam, HOCT-1, CEM-530으로 측정된 20대 건강한 성인의 CCT 값은 각각 $572.5 \pm 30.9 \mu\text{m}$, $571.8 \pm 30.0 \mu\text{m}$, $569.4 \pm 30.0 \mu\text{m}$, $569.4 \pm 32.9 \mu\text{m}$ 으로 통계적으로 유의한 차이가 없고, 네 기기에서 측정된 CCT는 모두 높은 상관성이 있음을 확인하였다.

본 연구에서 HNT-1P로 측정된 CCT 평균은 $572.5 \pm 30.9 \mu\text{m}$

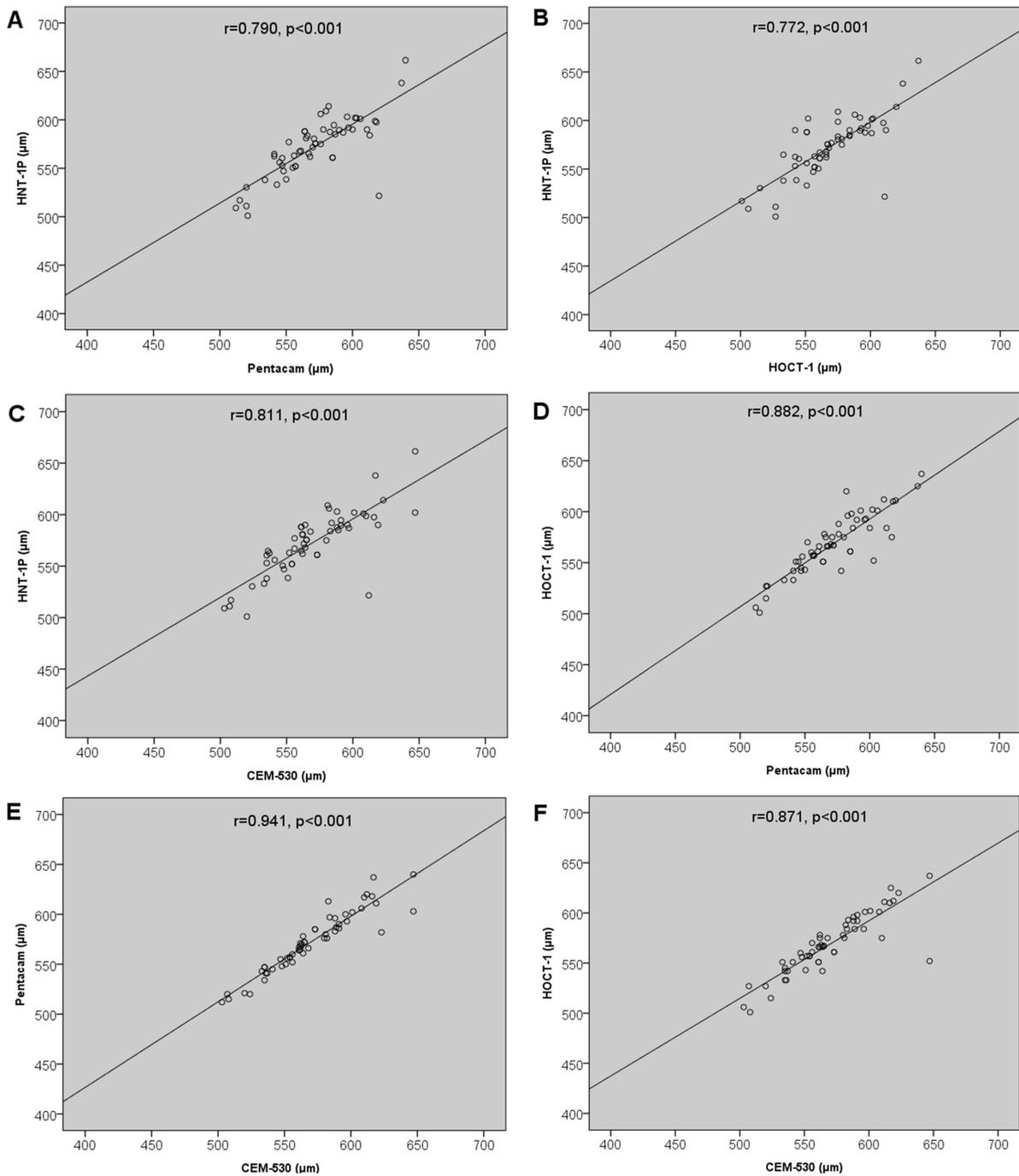


Fig. 6. Scatter plots of central corneal thickness measurements generated by four noncontact devices. (A) HNT-1P and Pentacam, (B) HNT-1P and HOCT-1F, (C) HNT-1P and CEM-530, (D) Pentacam and HOCT-1F, (E) Pentacam and CEM-530, (F) HOCT-1F and CEM-530.

로 Eah 등^[12]이 HNT-1P로 측정된 CCT 평균인 $553.5 \pm 27.4 \mu\text{m}$ 보다 두꺼웠다. 이는 선행연구의 대상자 평균 연령이 61.2세로 본 연구의 20대 대상자와 연령 차이로 인해 발생한 결과로 생각된다. 또 다른 연구에서, Bernardo 등^[13]과 Fujioka 등^[14]은 본 연구 결과와 같이 Pentacam이 NSM보다 더 두껍게 CCT가 측정되었다. 반면, Ucak T 등^[11]은 6가지 기기를 이용하여 CCT를 비교한 결과 Pentacam이

NSM보다 더 얇게 측정되었다. 이는 Pentacam의 경우 CCT 측정 시 눈물층을 포함하여 측정하는 경우가 있으므로 더 두껍게 측정될 수 있을 것으로 생각된다. OCT로 CCT를 측정한 Cheong 등^[7]은 두 가지 종류의 OCT로 측정된 CCT가 각각 $549.2 \pm 28.7 \mu\text{m}$ 와 $545.2 \pm 25.4 \mu\text{m}$ 이었고, 이는 Pentacam으로 측정된 CCT $554.0 \pm 27.8 \mu\text{m}$ 보다 얇게 측정되었다. Kim 등^[9]은 Galilei, USP, OCT로 CCT를 측정하였고,

OCT로 측정된 CCT가 $536.20 \pm 31.2 \mu\text{m}$ 로 가장 얇게 측정되었다고 하였다. 본 연구에서도 HNT-1P, Pentacam, HOCT-1, CEM-530을 이용하여 측정된 CCT는 각각 $572.5 \pm 30.9 \mu\text{m}$, $571.8 \pm 30.0 \mu\text{m}$, $569.4 \pm 30.0 \mu\text{m}$ 그리고 $569.4 \pm 32.9 \mu\text{m}$ 로 HOCT-1로 측정된 CCT가 가장 얇게 측정되어 선행연구와 유사한 경향을 보였다. HNT-1P와 Pentacam은 사임플러그 원리를 이용하여 눈물층을 포함한 CCT를 측정하는 방식인 반면 HOCT-1는 각막에서 반사되는 빛의 간섭 패턴을 분석하여 깊이 방향의 각막 단면 영상을 획득하여 CCT를 측정하는데 본 연구에서는 이를 대상자 모두에 대해서 수동으로 확인하여 기록하였다. 또한, CEM-530은 각막 전면의 상피세포와 후면의 내피세포에서 반사되는 빛의 거리차를 이용하여 CCT를 측정하는 방식이기 때문에 이러한 기기 간의 측정 방법의 차이는 CCT 측정에 영향을 미칠 수 있다고 생각된다.

본 연구는 각막 두께를 측정하는 방법 중 비접촉식 방법인 HNT-1P, Pentacam, HOCT-1, CEM-530의 네 가지 기기를 이용하여 CCT 측정값의 일치도와 상관관계를 분석하였다. 현재 비접촉식 방법에는 여러 기기가 개발되었으나 최근 새로운 기기인 HNT-1P와 CEM-530을 이용하여 CCT를 측정하고 그 결과값에 대한 기기 간 차이를 분석한 연구는 많지 않다. 현장에서 각막 두께를 측정하는 다양한 종류의 기기를 모두 갖추기는 어려우므로 본 연구는 네 가지 기기로 측정된 CCT를 비교하고, 일치도와 상관 분석 결과를 보여주는 데 의의가 있다고 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 본 연구는 건강한 20대를 대상으로 연구를 진행하였는데 각막부종이 있거나, 각막 표면이 불규칙한 경우와 같은 각막 병변이 있는 환자 또는 녹내장과 같은 안과적 질환이 있는 환자들을 대상으로 하였을 때 임상적 유용성을 판단하기에는 어렵다는 점이다. 따라서 다양한 각막질환이 있는 환자들을 대상으로 한 기기 간 CCT 측정값을 비교분석하는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 본 연구는 비접촉식 측정 기기별 재현성을 포함하지는 못했다. 그러나, 이미 기기의 재현성이 입증된 바가 있으므로 측정값을 분석하는 데 무리가 없다고 생각된다.^[12,15,16] 셋째, 본 연구는 500~650 μm 사이에 CCT를 가지고 있는 대상자의 측정값을 비교하여 얇거나 두꺼운 각막 두께의 기기 간 측정결과를 비교하지 못했다. 이후 연구에서는 각막 두께를 구분하여 기기별 CCT 차이를 분석할 필요가 있겠다. 넷째, 현재 CCT의 검사로는 USP가 가장 대표적으로 사용됐으나 본 연구에서는 USP를 포함하지 않았다. 하지만 USP는 피검사자의 각막에 직접 접촉해야 하는 방법으로 이에 따른 피검사자의 불편함, 검사자의 숙련도에 따른 측정값 차이가 발생할 수 있으므로 현재 임상에서는 빠르고 간단하게 CCT를 측정할 수

있는 비접촉식 기기들을 활발하게 사용되고 있다. 따라서 이전연구에서 HNT-1P, Pentacam, HOCT-1, CEM-530 네 가지 비접촉식 기기를 비교한 연구는 없었다는 점에서 본 연구의 의의를 들 수 있겠다.

결론

본 연구는 건강한 20대를 대상으로 비접촉식으로 각막 두께를 측정할 수 있는 NT(HNT-1P), RSC(Pentacam), OCT (HOCT-1), NSM(CEM-530)을 사용하여 CCT를 측정하였다. 그 결과 네 가지 비접촉식 기기로 측정된 CCT는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 일치도 범위는 Pentacam과 CEM-530에서 가장 작고, HNT-1P와 HOCT-1 사이에서 가장 크게 나타났으나 네 가지 기기로 측정된 20대의 CCT는 측정값 간에 모두 높은 상관관계를 보여 였다.

Conflict of interest

이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음

REFERENCES

- [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(5):771-773. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(02\)01656-2](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(02)01656-2)
- [2] Francis BA, Varma R, Chopra V, et al. Intraocular pressure, central corneal thickness, and prevalence of open-angle glaucoma: the Los Angeles Latino eye study. *Am J Ophthalmol.* 2008;146(5):741-746. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2008.05.048>
- [3] Woo SE, Lee SH. Central corneal thickness measurements and measurement repeatability using three imaging modalities. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2021;62(2):184-192. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2021.62.2.184>
- [4] 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(10):1542-1548. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2016.57.10.1542>
- [5] Ohn K, Lee MY, Lee YC, et al. Comparison of central corneal thickness measurements between noncontact specular microscopy and ultrasound pachymetry. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2019;60(7):635-642. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2019.60.7.635>
- [6] Park HY, Shin HY. Comparison of central corneal thickness measured by tonometer and ultrasound pachymetry. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2021;62(7):904-909. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2021.62.7.904>
- [7] Cheong YJ, Lee BR, Han KE, et al. Corneal thickness

- measurements using 2 kinds of spectral domain optical coherence tomography, pentacam, ultrasound pachymetry. J Korean Ophthalmol Soc. 2016;57(10):1527-1534. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2016.57.10.1527>
- [8] Han SH, Hwang HS, Shin MC, et al. Comparison of central corneal thickness and anterior chamber depth measured using three different devices. J Korean Ophthalmol Soc. 2015;56(5):694-701. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2015.56.5.694>
- [9] Kim DW, Yi KY, Choi DG, et al. Corneal thickness measured by dual scheimpflug, anterior segment optical coherence tomography, and ultrasound pachymetry. J Korean Ophthalmol Soc. 2012;53(10):1412-1418. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2012.53.10.1412>
- [10] 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(12):1643-1648. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2007.48.12.1643>
- [11] Ucak T, Icel E, Tasli NG, et al. Comparison of six methods of central corneal thickness measurement in healthy eyes. Beyoglu Eye J. 2021;12(6(1)):7-13. DOI: <https://doi.org/10.14744/bej.2021.17894>
- [12] Eah KS, Shin JW, Sung KR. New non-contact tonometer HNT-1P reliability: comparing intraocular pressure, central corneal thickness, and corrected intraocular pressure. J Korean Ophthalmol Soc. 2020;61(5):524-531. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2020.61.5.524>
- [13] Bernardo M, Borrelli M, Mariniello M, et al. Pentacam vs SP3000P specular microscopy in measuring corneal thickness. Cont Lens Anterior Eye. 2015;38(1):21-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2014.08.006>
- [14] Fujioka M, Nakamura M, Tatsumi Y, et al. Comparison of pentacam scheimpflug camera with ultrasound pachymetry and noncontact specular microscopy in measuring central corneal thickness. Curr Eye Res. 2007;32(2):89-94. DOI: <https://doi.org/10.1080/02713680601115010>
- [15] Miranda MA, Radhakrishnan H, O'Donnell C. Repeatability of oculus pentacam metrics derived from corneal topography. Cornea 2009;28(6):657-666. DOI: <https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e31819b01b5>
- [16] Bechmann M, Thiel MJ, Neubauer AS, et al. Central corneal thickness measurement with a retinal optical coherence tomography device versus standard ultrasonic pachymetry. Cornea 2001;20(1):50-54. DOI: <https://doi.org/10.1097/00003226-200101000-00010>

비접촉안압계, 회전샤임플러그 카메라, 빛간섭단층촬영계 및 비접촉경면현미경을 이용하여 측정한 중심각막두께의 비교

김희송¹, 김효진^{2,3,*}

¹백석대학교 보건복지대학원 안경광학과, 학생, 서울 06695

²백석대학교 안경광학과, 교수, 천안 31065

³백석대학교 대학원 옵토메트리학, 교수, 서울, 06695

투고일(2024년 5월 3일), 수정일(2024년 6월 17일), 게재확정일(2024년 6월 19일)

목적: 건강한 20대를 대상으로 네 가지 비접촉식 측정방법인 비접촉안압계, 회전샤임플러그 카메라, 빛간섭단층촬영계, 그리고 비접촉경면현미경을 이용하여 측정한 중심각막두께(central corneal thickness, CCT)를 비교하고자 하였다. **방법:** 2023년 3월부터 4월까지 충청남도에서 있는 일개 대학교 대학생 56명을 대상으로 하였고, 대상자의 평균 나이는 23.5±2.2세로 남성이 26명, 여성이 30명이었다. 동일 검사자가 비접촉안압계, 회전샤임플러그 카메라, 빛간섭단층촬영계, 비접촉경면현미경 측정 방식 순서로 CCT를 측정하였고, 기기 간 측정값의 일치도와 상관관계를 분석하였다. 네 가지 비접촉식 기기로는 순서대로 각각 HNT-1P, Pentacam, HOCT-1F, 그리고 CEM-530를 사용하였다. **결과:** 전체 대상자에서 HNT-1P, Pentacam, HOCT-1, CEM-530를 이용하여 측정한 평균 CCT는 각각 572.5±30.9 μm, 571.8±30.0 μm, 568.5±29.2 μm, 그리고 569.4±32.9 μm이었다. 모든 측정값은 서로 통계적으로 유의한 차이가 없었고 ($p=0.885$), 일치도 범위는 HOCT-1과 HNT-1P 사이에서 79.88 μm로 가장 컸고, Pentacam과 CEM-530에서 43.94 μm로 가장 작게 나타났다. 네 가지 기기 간의 상관관계는 HNT-1P와 Pentacam은 $r=0.790$, HNT-1P와 HOCT-1은 $r=0.772$, HNT-1P와 CEM-530은 $r=0.811$, Pentacam과 HOCT-1은 $r=0.882$, Pentacam과 CEM-530은 $r=0.941$, HOCT-1과 CEM-530은 $r=0.871$ 로 모두 높은 상관관계를 보였다(Pearson correlation coefficient $r>0.7$, all p -value<0.001). **결론:** 네 가지의 비접촉식 방법인 비접촉안압계(HNT-1P), 회전샤임플러그 카메라(Pentacam), 빛간섭단층촬영계(HOCT-1), 그리고 비접촉경면현미경(CEM-530)로 측정한 20대의 CCT 값은 통계적인 차이 없이 모두 높은 상관관계를 보였다.

주제어: 중심각막두께, 비접촉안압계, 회전샤임플러그 카메라, 빛간섭단층촬영계, 비접촉경면현미경