

두 종류의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 비교분석

Retinal Nerve Fiber Layer Thickness Measured with Two Different Spectral Domain Optical Coherence Tomography Devices

최범석 · 장수경 · 신종훈 · 이지웅

Beom Seok Choi, MD, Su Gyeong Jang, MD, Jonghoon Shin, MD, Ji-Woong Lee, MD, PhD

부산대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Pusan National University College of Medicine, Busan, Korea

Purpose: To assess the agreement and compare the performance of glaucoma diagnosis of peripapillary retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness measurements between two different spectral-domain optical coherence tomography (SD-OCT) devices.

Methods: Eighty nine eyes of 56 patients with glaucoma and 42 eyes of 25 healthy individuals were imaged with Cirrus and Spectralis OCT in a single visit. Agreement between RNFL thickness measurements was assessed using intraclass coefficient (ICC) and Bland-Altman plots. The discriminating abilities of the two techniques for detection of glaucoma were compared by the area under the receiver operating characteristic curves (AUC) for quadrants and average RNFL thickness.

Results: ICC values for agreement between both instruments were good for quadrants and average RNFL thickness (all ≥ 0.81). However, Spectralis OCT measurements were significantly greater than Cirrus OCT for temporal quadrant (difference = $4.27 \mu\text{m}$ in normal group, $3.91 \mu\text{m}$ in glaucoma group, $p < 0.001$ for both). The RNFL thickness parameter with the largest AUCs was the average RNFL thickness for the Spectralis OCT and the Cirrus OCT (0.85 vs. 0.87, $p = 0.30$). The pair-wise comparison among the receiver operating characteristic curves showed no statistical difference for all parameters.

Conclusions: Although Spectralis OCT measurements were significantly greater than Cirrus OCT for temporal quadrant, agreement of RNFL measurement between both the devices was generally good and there was no statistically significant difference in the performance of glaucoma diagnosis between both instruments.

J Korean Ophthalmol Soc 2016;57(7):1118-1125

Keywords: Agreement, Performance of glaucoma diagnosis, Peripapillary retinal nerve fiber layer, Spectral-domain optical coherence tomography

녹내장은 진행성 시신경병증으로 망막신경절세포와 그 축

삭의 점진적인 소실이 발생하는 질환이다.¹ Kerrigan-Baumrind et al²은 25-35%의 망막신경절세포의 소실이 자동 시야 검사의 이상과 관련 있다고 하였고, Wollstein et al³은 시야 이상이 발생하기 위해서는 적어도 17% 이상의 망막신경섬유층의 소실이 필요하다고 하였다. 따라서 비가역적인 녹내장성 손상을 시야 이상이 발생하기 전 조기에 발견하기 위해서 구조적인 망막신경섬유층 검사가 매우 중요하지만, 무적색 광 안저사진으로 검사한 망막신경섬유층의 평가는 주관적이며 검사자 간에 차이가 있을 수 있고, 망막신경섬유층 결

■ Received: 2016. 1. 7. ■ Revised: 2016. 4. 23.

■ Accepted: 2016. 5. 27.

■ Address reprint requests to **Ji-Woong Lee, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Pusan National University
Hospital, #179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 49241, Korea
Tel: 82-51-240-7326, Fax: 82-51-242-7341
E-mail: glaucoma@pnu.ac.kr

* This work was supported by a 2-year Research Grant of Pusan National University.

© 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.

손의 정도를 정량적으로 분석할 수 없다는 단점이 있다.⁴

빛간섭단층촬영기(optical coherence tomography, OCT)는 비침습적인 방법으로 망막신경섬유층을 객관적이고 정량적으로 측정하는 영상기기로 녹내장의 진단에 유용하게 사용되고 있으며, 시간영역 빛간섭단층촬영기에서 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기로 발전하였다.^{4,10} 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기의 원리는 고정된 거울에서 반사한 빛의 주파수 스펙트럼에서 정보를 획득하여 A-scan 데이터를 평균화하고 Fourier 변환을 함으로써, 고해상도의 2차원 및 3차원의 망막의 구조를 얻을 수 있고 시간영역 빛간섭단층촬영기에 비하여 스캔속도가 빠르고 해상도가 높다는 장점이 있다.^{4,7} 현재 사용되고 있는 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영 기기들 중 Cirrus OCT (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)는 초당 26,000 A-scan을 조사하고, Spectralis OCT (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)는 초당 40,000 A-scan을 조사하여, Cirrus OCT와 비교하여 1.5배의 더 빠른 스캔속도를 가진다.¹¹ 축 해상도 역시 Spectralis OCT는 3.9 μm , Cirrus OCT는 5.0 μm 로 차이가 있다.¹¹ 또한 Spectralis OCT는 분석 소프트웨어의 5.3버전부터 망막신경섬유층 촬영 후 중심와-시신경 정렬(Fovea-to-disc, FoDi) 프로그램을 이용하여 망막신경섬유층 두께 측정치를 정렬하여, Cirrus OCT와 망막신경섬유층 두께 측정치의 시작점과 종료점이 다르다는 차이점이 있다.¹² 이러한 차이로 인해 녹내장 환자에서 두 검사기기 간의 망막신경섬유층 두께 측정의 일치도와 녹내장안의 진단력을 비교 분석하는 것은 중요하다고 생각된다.

시간영역과 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기로 측정된 망막신경섬유층 두께 측정의 일치도를 분석한 국내 연구들에서 두 기기 간의 측정치들 사이에 유의한 차이가 보고되었다.^{5,6} 시간영역과 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 녹내장안 진단 능력을 비교 분석한 국내 연구에서 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기의 진단능력이 시간영역 빛간섭단층촬영기에 비하여 우월함을 보고하였다.¹³ 다른 종류의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기들로 측정된 망막신경섬유층 두께의 녹내장안 진단 능력을 비교한 국외 연구에서 Spectralis OCT, Cirrus OCT, RTVue OCT (Optovue Inc., Fremont, CA, USA) 세 기종의 진단력은 비측을 제외한 나머지 영역에서 유의한 차이는 없었다.¹⁴

그러나 국내에서 녹내장 환자를 대상으로 하여 다른 종류의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 비교 연구는 없었다. 본 연구에서는 한국의 정상인과 원발개방각녹내장 환자를 대상으로 두 종류의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기를 이용하여 측정된 망막신경섬유층 두께의 일치도와 녹내장 진단력에 대해 비교 분석하고자 하였다.

대상과 방법

본 연구는 단면적 비교연구로서 원발개방각녹내장 환자로 진단 받은 56명 89안과 정상인 25명 42안을 대상으로 하였다. 본 연구에 대하여 부산대학교병원 임상윤리위원회의 승인을 받고(승인번호: H-1510-001-034), 모든 환자들에게 임상연구에 대하여 충분히 설명 후, 연구 참여를 위한 동의서를 받고 검사를 시행하였다. 모든 대상자는 병력 검사, 시력측정, 안축장길이측정, 세극등검사, 골드만압평안압측정, 앞방각경검사, 초음파를 이용한 중심각막두께측정(Pachymate; DGH technology Inc., Exton, PA, USA), Humphrey 자동시야검사(Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA, Swedish Interactive Threshold Algorithm Standard Central 30-2), 그리고, 망막신경섬유층 및 시신경유두 촬영을 시행하였다.

원발개방각녹내장 환자의 진단은 전방각경 검사에서 개방각 소견을 보이고, 특이적인 녹내장성 시신경손상과 이에 상응하는 녹내장성 시야결손을 보이는 경우로 정의하였다. 특이적인 녹내장성 손상은 시신경 유두 패임, 양안의 수직 유두함몰비 차이가 0.2 이상, 망막신경섬유층결손을 동반한 경우로 정의하였다. 녹내장성 시야손상은 Humphrey 자동시야계 검사에서 pattern deviation plot에서 인접한 3개 이상의 점의 역치가 정상의 5% 미만으로 나타나고 그중 한 개 이상은 1% 미만이거나 혹은 1% 미만인 두 점이 연결되어 있을 때, 그리고 Glaucoma hemifield test에서 outside normal limit 소견을 보이거나 pattern standard deviation이 정상의 5% 이하로 분류되는 경우로 정의하였다. 시야검사는 신뢰도 지표상 주시 상실이 20% 미만, 가음성과 가양성 반응이 15% 미만인 경우에만 분석에 포함되었다. 정상안은 안압이 21 mmHg 이하이고, 안압 상승의 기왕력이 없으며 녹내장성 시신경손상이 관찰되지 않고 시야 검사가 정상인 경우로 정의하였다.

충분히 산동한 후, 같은 날 동일한 검사자가 Cirrus OCT (소프트웨어 4.0 버전)와 Spectralis OCT (소프트웨어 5.3 버전)로 연속 촬영하였다. Cirrus OCT는 Optic disc cube mode를 이용하여 시신경 유두의 영상을 획득하였고, 신호 강도가 6 미만이거나 중심이 이탈되어 있는 경우는 대상에서 제외하였으며, 시신경유두를 중심으로 가로 세로 6 mm 사각형 부위를 200개로 균등히 분할 후 단면당 200개의 A-scan을 통해 얻어진 자료에서 시신경 유두 중심으로부터 3.46 mm 지름의 원에서 측정치를 추출하여 망막신경섬유층 두께의 측정값을 구하였다. Spectralis OCT는 Peripapillary circle scan mode를 이용하여 망막신경섬유층 두께를 측정하였다. 눈 추적 방식이 활성화된 상태에서 노이즈 감소를 위해 Automatic

Table 1. Demographic and clinical characteristics of the patients enrolled in the study

	Normal	Glaucoma	p-value
No. of eyes (patients)	42 (25)	89 (56)	
Age (years)	42.1 ± 16.7	56.8 ± 15.1	0.128*
Sex (male/female)	25/17	45/44	0.074†
Mean deviation (dB)	-1.2 ± 1.5	-7.8 ± 5.7	<0.001‡
Pattern standard deviation (dB)	1.7 ± 0.4	7.2 ± 5.0	0.030‡
Central corneal thickness (µm)	550.4 ± 24.9	547.8 ± 35.5	0.011‡
Spherical equivalent (diopter)	-3.6 ± 3.9	-2.1 ± 3.4	0.092‡
Axial length (mm)	24.8 ± 1.9	24.5 ± 1.7	0.150‡
Torsion degree (°)	-2.5 ± 13.4	-3.1 ± 15.1	0.634‡
Tilt index	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1	0.850‡

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

*Student *t*-test; †Chi-squared test; ‡Mann-Whitney *U*-test.

Table 2. Comparison of retinal nerve fiber layer thickness measured with Cirrus and Spectralis optical coherence tomography

	Normal			Glaucoma		
	Cirrus	Spectralis	p-value*	Cirrus	Spectralis	p-value*
Inferior (µm)	111.7 ± 21.0	112.7 ± 22.8	0.520	83.4 ± 25.1	83.2 ± 28.1	0.818
Superior (µm)	113.4 ± 20.2	114.5 ± 20.7	0.265	85.4 ± 21.2	85.3 ± 24.4	0.982
Nasal (µm)	62.5 ± 10.7	61.4 ± 13.7	0.346	59.8 ± 10.8	59.6 ± 12.4	0.790
Temporal (µm)	71.5 ± 15.4	75.8 ± 14.8	<0.001	60.5 ± 15.0	64.4 ± 16.4	<0.001
Average (µm)	91.2 ± 12.4	91.7 ± 12.7	0.245	72.3 ± 12.9	72.4 ± 14.6	0.887

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

*Paired *t*-test.

Real-Time 기능을 사용하여 이미지를 획득하였다. 시신경 주위에 위치한 Circle scan은 약 3.5 mm 지름의 원으로서 1,536 개의 A-scan으로 이루어져 있다. Spectralis OCT로 좋은 상을 얻기 위해 모든 스캔은 신호강도 20 dB 이상만 결과에 포함하였고, 중심소와가 올바른 해부학적 위치에 있음을 확인하였다. 두 기기로 획득한 영상에서 분할 오류가 없음을 확인하고 대상군에 포함하였다.

시신경유두에 대한 인자로서, 본 연구에서 시신경 유두의 tilt와 torsion을 조사하였다. 시신경 유두의 tilt는 시신경의 긴 지름과 짧은 지름의 비로 나타내었으며, 시신경 유두의 torsion은 시신경의 중심과 중심와를 연결시킨 선에 수직인 선이 시신경의 장축과 이루는 각으로 나타내었다. 상이측 torsion은 음수, 하이측 torsion은 양수로 표시하였고, 시신경 유두의 tilt와 torsion은 Image J (National institute of health, Bethesda, MD, USA)를 사용하여 측정하였다.¹⁵

데이터의 정규성 분포 검사는 Kolmogorov-Smirnov 분석을 이용하였다. 정상인과 원발개방각녹내장 환자군에서 두 종류의 빛간섭단층촬영기로 측정된 평균 및 각 사분면의 망막신경섬유층의 평균값은 paired *t*-test로 비교하였고, 각 군에서 두 빛간섭단층촬영기로 측정된 4개의 사분면과 평균 시신경유두 주위 망막신경섬유층 두께 측정값의 일치도를 알아보기 위해 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)와 Bland-Altman plot 분석을 이용하였다. 또한 상관분

Table 3. Intraclass correlation coefficient of retina nerve fiber layer thickness measurement with Cirrus and Spectralis optical coherence tomography

	ICC	95% CI	p-value
Normal			
Inferior RNFL	0.95	0.91-0.98	<0.001
Superior RNFL	0.98	0.96-0.99	<0.001
Nasal RNFL	0.90	0.81-0.95	<0.001
Temporal RNFL	0.95	0.90-0.97	<0.001
Average RNFL	0.99	0.98-0.99	<0.001
Glaucoma			
Inferior RNFL	0.98	0.96-0.98	<0.001
Superior RNFL	0.97	0.96-0.98	<0.001
Nasal RNFL	0.81	0.72-0.88	<0.001
Temporal RNFL	0.96	0.93-0.97	<0.001
Average RNFL	0.93	0.89-0.95	<0.001

ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval; RNFL = retinal nerve fiber layer.

석을 통해 두 기기로 측정된 망막신경섬유층두께의 차이에 영향을 미치는 인자를 분석하였다. 각 군의 4개의 사분면과 평균 시신경유두 주위 망막신경섬유층 두께 측정값을 이용하여 녹내장과 정상안을 감별하는 Receiver operating characteristic (ROC) curve를 그린 후, Area under ROC (AUC)를 산출하였으며, 두 기기 간의 AUC의 차이를 비교하였다. 통계학적인 분석은 SPSS for Windows 21.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)과 MedCalc version 9.3.7.0 (MedCalc Software, Ma-

riakerke, Belgium)을 사용하였다. 통계학적인 유의수준은 유의 확률이 0.05 미만으로 정하였다.

결 과

원발개방각녹내장 환자 56명 89안, 정상인 25명 42안이 본 연구에 참여하였고, 평균 나이는 각각 56.8 ± 15.1 세, $42.1 \pm$

16.7세였다. 두 군 간에 나이, 성별, 굴절력, 안축장의 길이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p \geq 0.07$) (Table 1).

각 군에서 두 기기를 통하여 측정된 망막신경섬유층의 두께를 비교하였을 때, 정상인과 녹내장 환자군 모두에서 하측 사분면, 상측 사분면, 비측 사분면, 평균 망막신경섬유층 두께는 두 기기 간에 유의한 차이가 없었으나, 이측 사분면에서는 Spectralis OCT로 측정된 수치가 Cirrus OCT로

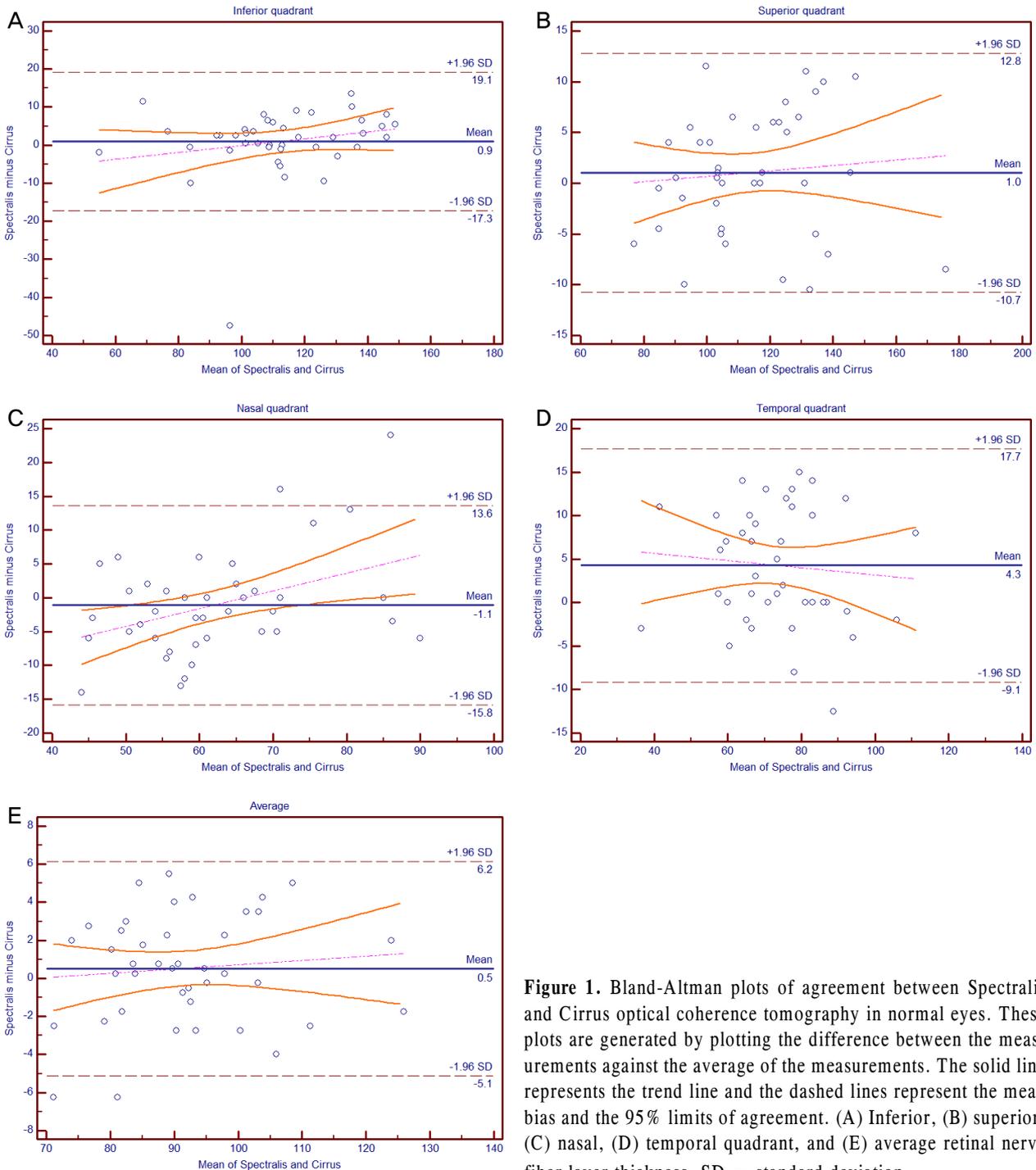


Figure 1. Bland-Altman plots of agreement between Spectralis and Cirrus optical coherence tomography in normal eyes. These plots are generated by plotting the difference between the measurements against the average of the measurements. The solid line represents the trend line and the dashed lines represent the mean bias and the 95% limits of agreement. (A) Inferior, (B) superior, (C) nasal, (D) temporal quadrant, and (E) average retinal nerve fiber layer thickness. SD = standard deviation.

측정한 수치보다 통계적으로 유의하게 더 높았다($p<0.001$) (Table 2).

두 군에서 각각의 기기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 일치도를 분석하기 위하여 급내 상관계수를 구하여 비교하였다. 정상인에서 두 기기 간의 급내상관계수는 0.90-0.99 (모두 $p<0.001$)로 비측에서 가장 낮았고(0.90), 평균망막신경섬유층 두께에서 가장 높았다(0.99). 녹내장 환자군에서는

0.81-0.98 (모두 $p<0.001$)로 역시 비측에서 가장 낮았으나 (0.81), 하측 망막신경섬유층에서 가장 높았다(0.98) (Table 3).

Cirrus OCT와 Spectralis OCT로 측정된 망막신경섬유층 두께의 평균치와 두 기기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 차이를 선형회귀분석한 결과, 정상군에서는 하측 사분면($r=0.21$, $p=0.188$), 상측 사분면($r=0.09$, $p=0.565$), 비측 사분면($r=0.41$, $p=0.007$), 이측 사분면($r=0.09$, $p=0.580$) 평균($r=0.10$,

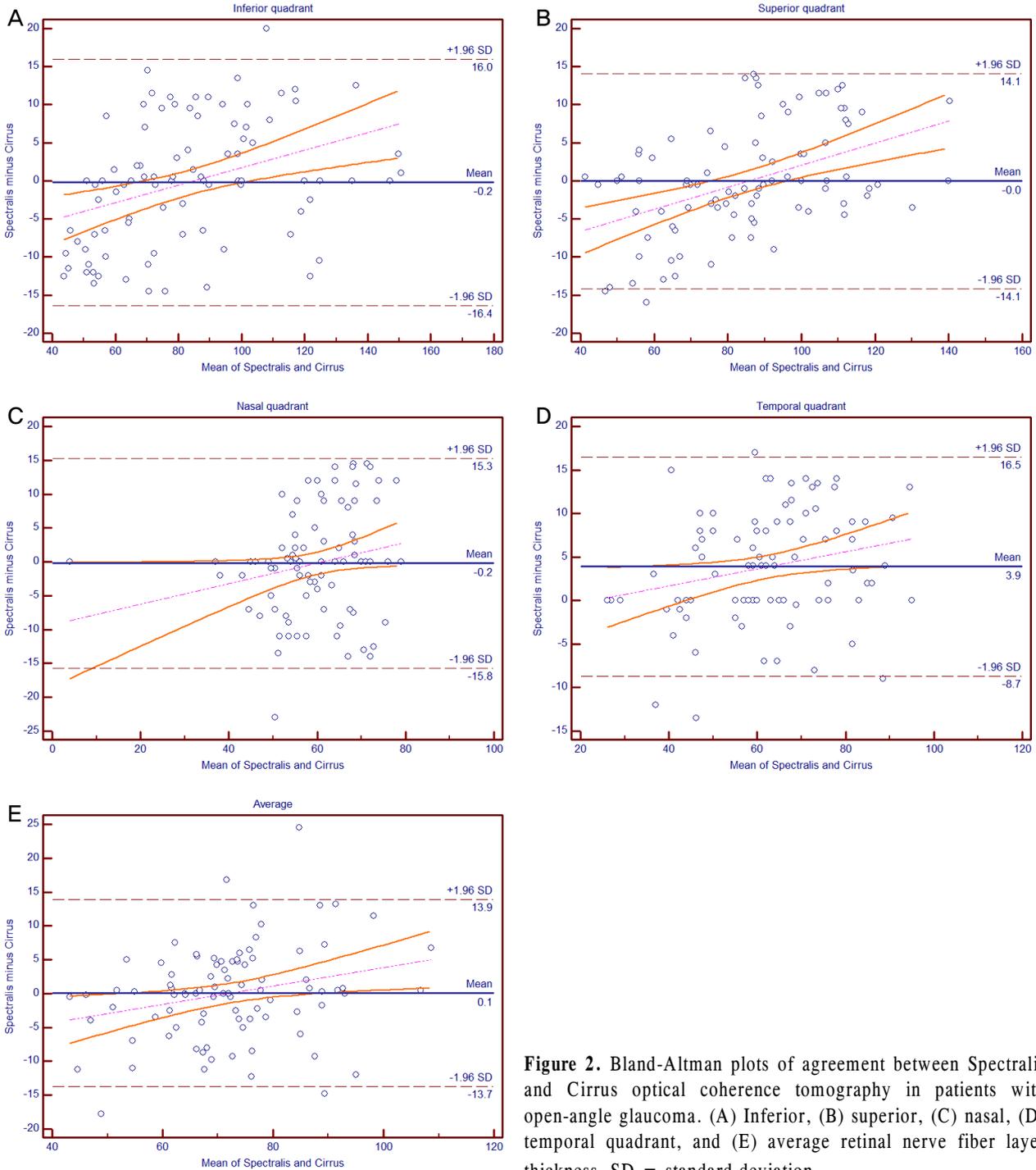


Figure 2. Bland-Altman plots of agreement between Spectralis and Cirrus optical coherence tomography in patients with open-angle glaucoma. (A) Inferior, (B) superior, (C) nasal, (D) temporal quadrant, and (E) average retinal nerve fiber layer thickness. SD = standard deviation.

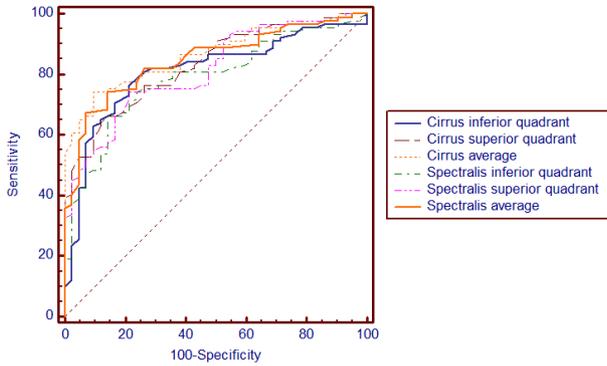


Figure 3. The receiver operating characteristic curve of average, inferior and superior quadrant parapapillary retinal nerve fiber layer thickness for discrimination between normal and glaucomatous eyes. Sensitivities and specificities were described as percentage (%).

Table 4. The area under receiver operator characteristics curve (AUC) and confidence interval (CI) of retinal nerve fiber layer thickness in average and 4 quadrants for discrimination of glaucoma from normal eyes

	Cirrus		Spectralis		p-value
	AUC	CI	AUC	CI	
Average	0.87	0.78-0.91	0.85	0.80-0.92	0.296
Inferior	0.81	0.73-0.87	0.79	0.71-0.86	0.221
Superior	0.83	0.76-0.89	0.81	0.74-0.88	0.127
Nasal	0.55	0.46-0.64	0.50	0.41-0.59	0.148
Temporal	0.70	0.61-0.78	0.69	0.61-0.77	0.844

$p=0.535$)로 비측 사분면에서는 유의한 proportional bias가 있어 상대적으로 두꺼운 망막신경섬유층에서 Spectralis OCT가 두껍게 측정되었다(Fig. 1). 녹내장군에서는 하측 사분면($r=0.37, p<0.001$), 상측 사분면($r=0.45, p<0.001$), 비측 사분면($r=0.21, p=0.049$), 이측 사분면($r=0.234, p=0.028$) 평균($r=0.26, p=0.015$)으로 모든 영역에서 유의한 bias가 있어 상대적으로 두꺼운 망막신경섬유층에서는 Spectralis OCT가 Cirrus OCT보다 더 두껍게 측정되었다(Fig. 2).

상관분석을 통하여 정상군과 녹내장군 모두에서 두 기기 간에 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 발견된 이측 사분면의 망막신경섬유층두께의 차이에 미치는 인자를 조사하였다. 나이, 시야 검사의 Mean deviation (MD), 중심 각막두께, 안축장 길이, 시신경유두 tilt와 torsion이 분석에 사용되었다. 녹내장 군에서 MD 값이 클수록 Spectralis OCT로 측정된 망막신경섬유층의 두께가 Cirrus OCT의 측정치보다 더 두꺼운 경향이 발견되었다(Pearson 상관분석 $r=0.23, p=0.031$).

두 OCT 기기로 측정된 4개의 사분면 영역과 평균 망막신경섬유층 두께 측정치의 AUC 값은 Cirrus OCT에서 평균두께 0.87, 상측 사분면 두께 0.83, 하측사 분면 두께 0.81, 이

측 사분면 두께 0.70, 비측 사분면 두께 0.55 순서였고, Spectralis OCT는 평균두께 0.85, 상측 사분면 두께 0.81, 하측 사분면 두께 0.79, 이측 사분면 두께 0.69, 비측 사분면 두께 0.50 순서로, 평균 망막신경섬유층 두께가 두 OCT 기기 모두에서 녹내장 진단에 가장 유용한 인자로 나타났다(Table 4) (Fig. 3). 두 OCT 기기 사이에 망막신경섬유층 두께 측정치들의 AUC 값은 유의한 차이가 없었다(Table 4).

고찰

본 연구 결과 정상인과 개방각 녹내장 환자군 모두에서 Cirrus OCT와 Spectralis OCT로 측정된 하측, 상측, 비측과 평균 망막신경섬유층 두께는 차이가 없었으나, 이측 망막신경섬유층 두께는 Cirrus OCT보다 Spectralis OCT에서 더 두껍게 측정되었다. 두 기기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 일치도는 우수하였고, 두 기기 측정값의 평균치와 두 기기 측정값의 차이를 선형회귀분석한 결과 평균, 하측 사분면, 상측 사분면, 비측 사분면은 proportional bias가 있어, 상대적으로 두꺼운 망막신경섬유층에서는 Spectralis OCT가 더 두껍게 측정되었고, 얇은 망막신경섬유층에서는 Cirrus OCT가 더 두껍게 측정되었다. 녹내장의 진단에 가장 유용한 측정치는 두 기기 모두 평균, 상측 사분면, 하측 사분면 망막신경섬유층 두께 순으로 나타났고 두 기기 간의 녹내장 진단력 차이는 없었다.

본 연구에서 정상안 및 녹내장안 모두에서 두 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영기기 간에 각 사분영역 및 평균 망막신경섬유층 두께의 일치도는 우수하였으나, 이측 사분영역의 망막신경섬유층 두께는 Spectralis OCT가 정상군과 녹내장군에서 모두 Cirrus OCT보다 두껍게 측정되었다. 이는 이전의 연구 결과들과 일치하는 소견으로 Faghihi et al¹¹은 Spectralis OCT로 측정된 상측, 하측, 이측 사분면과 평균 망막신경섬유층의 두께가 Cirrus OCT로 측정된 두께보다 두껍다고 보고하였다. Leite et al¹⁶은 Cirrus OCT로 측정된 하측, 이측 사분면과 평균 망막신경섬유층의 두께가 Spectralis OCT로 측정된 두께보다 얇다고 보고하였다. Patel et al¹⁷ 역시 Spectralis OCT로 측정된 이측, 상측, 비측, 하측 사분면과 평균 망막신경섬유층의 두께가 Cirrus OCT로 측정된 두께보다 두껍다고 보고하였다. 유의한 차이를 보인 이유로 두 기기 간의 해상도의 차이, 망막신경섬유층을 분절하는 알고리즘의 차이, 초당 스캔 속도의 차이, 신호 강도, 이미지 획득과 데이터 처리의 차이를 생각해 볼 수 있다.^{11,16} 또한 Patel et al¹⁷은 망막신경섬유층에 포함되는 망막혈관의 기여도 차이로 인해 두 기기로 측정된 망막신경섬유층 두께가 차이가 있을 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서 비측 사분

면의 망막신경섬유층 두께 측정에서 Cirrus OCT와 Spectralis OCT의 일치도가 다른 사분면보다 낮게 관찰되었는데, 이는 레이저 광선의 입사각으로 인하여 비측 사분면이 어두운 것과 관련이 있다고 하였다.¹⁸

Leung et al¹⁹은 Cirrus OCT를 이용한 평균 망막신경섬유층 두께 측정에서 5.12 μm 의 반복성(intravisit repeatability)을 보고하였고, 이러한 차이가 측정기기에 따라 10 μm 가 넘을 경우 이에 영향을 미치는 다른 인자를 고려하여야 한다고 Leite et al¹⁶은 주장하였다. Leite et al¹⁶의 연구결과에 의하면 시야결손이 심할수록, 구면대응치가 근시 쪽으로 증가할수록 Spectralis OCT가 Cirrus OCT보다 얇게 측정된다고 보고하였다. 안축장의 길이 역시 두 기기의 일치도에 영향을 주었고, 길이가 길수록 Spectralis OCT가 더 얇게 측정된다고 하였다. 본 연구에서는 이측 영역에서 Spectralis OCT가 Cirrus OCT에 비해 정상안에서는 평균(\pm 표준편차) 4.27 \pm 6.84 μm , 녹내장안에서는 평균(\pm 표준편차) 3.91 \pm 6.42 μm 더 두껍게 측정되었다. 이에 영향을 미치는 인자를 상관분석을 통하여 조사하였고, 녹내장군에서 MD 값이 클수록 이측 사분영역에서 Spectralis OCT가 Cirrus OCT보다 더 두껍게 측정되는 경향이 발견되어, 이전의 연구 결과와 일치하는 소견으로 생각된다.¹⁶

본 연구에서 두 기기의 녹내장 진단에 대한 민감도는 평균 망막신경섬유층이 가장 높았고, 비측에서 가장 낮았다. 현재까지 국내에서는 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영 기기 간의 망막신경섬유층 두께의 일치도와 녹내장안 진단력을 비교한 연구는 없고, 시간영역과 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영 기기 간의 녹내장 진단력을 비교한 연구가 국내에서 보고된 바 있다.²⁰ Cho et al²⁰은 시간영역 빛간섭단층촬영기와 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기 모두에서 가장 녹내장 진단력이 높은 측정치는 평균 망막신경섬유층 두께이고, AUC는 각각 0.96과 0.97로 보고하였다. Spectralis OCT의 녹내장 진단력에 대하여 Leung et al¹⁹은 평균 망막신경섬유층 두께가 가장 유용한 측정치라고 보고하였다. Park et al²¹은 Cirrus OCT에서 하측 사분면, 평균, 상측 사분면 망막신경섬유층 순서로 높은 진단력을 보고하였고, 이는 본 연구 결과와 유사한 소견이다.

빛간섭단층촬영기의 여러 지표들의 녹내장 진단력을 평가한 한 연구에서 하측 망막신경섬유층 두께가 초기 및 중기 녹내장과 정상안을 감별하는 데 뛰어나다고 보고하였다.²² Medeiros et al²³은 하측 망막신경섬유층과 평균 망막신경섬유층 두께 측정값이 높은 AUC 값을 보이고, 녹내장안과 정상안을 감별할 수 있는 능력을 가진다고 발표하였다. Spectralis OCT, Cirrus OCT의 녹내장 진단력을 비교한 연구에서 Spectralis OCT에서는 상측 사분면 망막신경섬유층 두

께의 AUC가 0.88로 가장 높았고, Cirrus OCT에서는 평균 망막신경섬유층의 AUC가 0.88로 가장 높은 진단력을 보였다.¹⁴ 비측 사분면을 제외한 나머지 영역의 망막신경섬유층 두께의 녹내장 진단력을 비교할 때, 두 종류 기기들 간의 AUC는 차이가 없었다.¹⁴ 본 연구에서도 녹내장 진단력 측면에서 평균 망막신경섬유층, 상측 사분면 망막신경섬유층, 하측 사분면 망막신경섬유층의 두께 순으로 AUC 값이 높았고, 비측과 이측 망막신경섬유층 두께의 AUC 값은 두 기기에서 모두 낮았으나, 두 OCT 기기 간의 AUC 값은 유의한 차이가 없었다.

결론적으로 녹내장 진단 혹은 경과관찰을 위한 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영 검사 시 기계로 인한 측정치의 유의한 차이가 있을 수 있으므로 동일한 기기로 망막신경섬유층의 두께를 측정하는 것이 필요하다고 생각된다. 그러나 기종 간의 녹내장 진단력의 차이는 없으므로, 기기의 종류에 관계없이 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기는 녹내장 진단에 유용하게 사용될 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Weinreb RN, Khaw PT. Primary open-angle glaucoma. *Lancet* 2004;363:1711-20.
- 2) Kerrigan-Baumrind LA, Quigley HA, Pease ME, et al. Number of ganglion cells in glaucoma eyes compared with threshold visual field tests in the same persons. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:741-8.
- 3) Wollstein G, Kagemann L, Bilonick RA, et al. Retinal nerve fibre layer and visual function loss in glaucoma: the tipping point. *Br J Ophthalmol* 2012;96:47-52.
- 4) Shin JW, Lee WJ, Uhm KB. Comparison of diagnostic ability of 3D and stratus optical coherence tomography in early glaucoma. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:652-61.
- 5) Lee J, Song IS, Kim YJ, et al. Comparison of retinal nerve fiber layer thickness measured by spectral-domain and time-domain optical coherence tomography. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:103-10.
- 6) Han KE, Jun RM, Choi KR. Comparison of RNFL thickness measured by two different kind of OCT in NTG patients. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:1853-9.
- 7) Lee Y, Sung KR, Hong JT, Na JH. Glaucoma diagnostic performance of macular and retinal nerve fiber layer by spectral-domain optical coherence tomography. *J Korean Ophthalmol Soc* 2010;51:1250-7.
- 8) Kim NR, Lee ES, Seong GJ, et al. Spectral-domain optical coherence tomography for detection of localized retinal nerve fiber layer defects in patients with open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2010;128:1121-8.
- 9) Hwang YH, Kim YY, Kim HK, Sohn YH. Ability of cirrus high-definition spectral-domain optical coherence tomography clock-hour, deviation, and thickness maps in detecting photographic retinal nerve fiber layer abnormalities. *Ophthalmology* 2013;120:1380-7.

- 10) Na JH, Lee KS, Lee JR, et al. The glaucoma detection capability of spectral-domain OCT and GDx-VCC deviation maps in early glaucoma patients with localized visual field defects. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013;251:2371-82.
- 11) Faghihi H, Hajizadeh F, Hashemi H, Khabazkhoob M. Agreement of two different spectral domain optical coherence tomography instruments for retinal nerve fiber layer measurements. *J Ophthalmic Vis Res* 2014;9:31-7.
- 12) Valverde-Megias A, Martinez-de-la-Casa JM, Serrador-García M, et al. Clinical relevance of foveal location on retinal nerve fiber layer thickness using the new FoDi software in spectralis optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:5771-6.
- 13) Sung KR, Kim DY, Park SB, Kook MS. Comparison of retinal nerve fiber layer thickness measured by Cirrus HD and Stratus optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2009;116:1264-70, 1270.e1.
- 14) Leite MT, Rao HL, Zangwill LM, et al. Comparison of the diagnostic accuracies of the Spectralis, Cirrus, and RTVue optical coherence tomography devices in glaucoma. *Ophthalmology* 2011;118:1334-9.
- 15) Park HY, Lee K, Park CK. Optic disc torsion direction predicts the location of glaucomatous damage in normal-tension glaucoma patients with myopia. *Ophthalmology* 2012;119:1844-51.
- 16) Leite MT, Rao HL, Weinreb RN, et al. Agreement among spectral-domain optical coherence tomography instruments for assessing retinal nerve fiber layer thickness. *Am J Ophthalmol* 2011;151:85-92.e1.
- 17) Patel NB, Wheat JL, Rodriguez A, et al. Agreement between retinal nerve fiber layer measures from Spectralis and Cirrus spectral domain OCT. *Optom Vis Sci* 2012;89:E652-66.
- 18) Knighton RW, Qian C. An optical model of the human retinal nerve fiber layer: implications of directional reflectance for variability of clinical measurements. *J Glaucoma* 2000;9:56-62.
- 19) Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, et al. Retinal nerve fiber layer imaging with spectral-domain optical coherence tomography: a variability and diagnostic performance study. *Ophthalmology* 2009;116:1257-63, 1263.e1-2.
- 20) Cho JW, Sung KR, Hong JT, et al. Detection of glaucoma by spectral domain-scanning laser ophthalmoscopy/optical coherence tomography (SD-SLO/OCT) and time domain optical coherence tomography. *J Glaucoma* 2011;20:15-20.
- 21) Park SB, Sung KR, Kang SY, et al. Comparison of glaucoma diagnostic capabilities of Cirrus HD and Stratus optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2009;127:1603-9.
- 22) Kanamori A, Nakamura M, Escano MF, et al. Evaluation of the glaucomatous damage on retinal nerve fiber layer thickness measured by optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2003;135:513-20.
- 23) Medeiros FA, Zangwill LM, Bowd C, et al. Evaluation of retinal nerve fiber layer, optic nerve head, and macular thickness measurements for glaucoma detection using optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2005;139:44-55.

= 국문초록 =

두 종류의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 비교 분석

목적: 두 종류의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기(optical coherence tomography, OCT)를 이용하여 측정된 망막신경섬유층 두께의 일치도와 녹내장안 진단의 유용성을 비교하고자 하였다.

대상과 방법: Cirrus OCT와 Spectralis OCT를 이용하여 원발개방각녹내장 환자 56명 89안과 정상인 25명 42안에서 망막신경섬유층 두께를 측정하였다. 두 OCT 기기로 측정된 사분면 및 평균 망막신경섬유층 두께의 일치도를 급내상관계수와 Band-Altman plot을 이용하여 분석하였다. 사분면 및 평균 망막신경섬유층 두께의 녹내장 진단능력 비교는 Area under the receiver operating characteristic curve (AUC)로 분석하였다.

결과: 정상안과 녹내장안에서 두 OCT 기기로 측정된 사분면 및 평균 망막신경섬유층 두께는 우수한 일치도를 나타내었으나(급내상관계수 ≥ 0.81), 이측 사분면에서 Spectralis OCT가 Cirrus OCT보다 더 두껍게 측정되었다($p < 0.001$). 두 OCT 기기로 측정된 평균 망막신경섬유층 두께가 가장 높은 녹내장 진단력을 보였고(AUC 각각 0.85, 0.87, $p = 0.30$), 사분면 및 평균 망막신경섬유층 두께의 AUC 값은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

결론: 정상안과 녹내장안 모두에서 Spectralis OCT가 Cirrus OCT보다 이측 망막신경섬유층 두께가 높았으나, 두 기기 간 각 사분면역 및 평균 망막신경섬유층 두께 측정의 일치도는 우수하였고, 녹내장의 진단능력은 차이가 없었다.

(대한안과학회지 2016;57(7):1118-1125)