

## 두 종류의 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영기를 사용한 시신경 유두의 해부학적 구조 분석능력 비교

### Measurement of Deep Optic Nerve Complex Structures with Two Spectral Domain Optical Coherence Tomography Instruments

유 성 · 이규원 · 이태윤

Sung Yu, MD, Kyoo Won Lee, MD, PhD, Tae Yoon Lee, MD

제일안과병원

Cheil Eye Hospital, Daegu, Korea

**Purpose:** To assess the usefulness of two spectral domain optical coherence tomography (SD-OCT) instruments (Cirrus®, Spectralis®) for evaluating optic nerve head and peripapillary structures.

**Methods:** Images of optic nerve complex were obtained from 136 eyes of 136 patients using enhanced depth imaging technique of 2 SD-OCT instruments. Optic nerve head and peripapillary structures were investigated for their visibility and morphological features in total eyes and glaucomatous eyes. Effect factors for lamina thickness measurement were evaluated and the reproducibility of the lamina cribrosa thickness measured by the 2 OCT instruments was analyzed.

**Results:** Lamina cribrosa thickness was better identified using Spectralis® OCT in total and glaucomatous eyes. Short posterior ciliary artery (in total eyes) and peripapillary choroid (in total and glaucomatous eyes) were also better identified using Spectralis® OCT ( $p < 0.001$ ). A cup-disc ratio  $\leq 0.6$  was the significant effect factor for lamina thickness measurement ( $p < 0.05$ ). Interobserver reproducibility was excellent using both OCT instruments. Intraobserver reproducibility was excellent using Spectralis® OCT and moderate using Cirrus® OCT.

**Conclusions:** Spectralis® OCT was better for visualizing optic nerve head and peripapillary structures and showed better reproducibility than Cirrus® OCT. Thus, the Spectralis® may be helpful for detecting and understanding features of the optic nerve complex.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(3):371-378

**Key Words:** Glaucoma, Lamina cribrosa, Peripapillary structure, Reproducibility, Spectral domain optical coherence tomography

녹내장은 진행성 시신경병증으로 시신경유두 및 주위 구조물의 특징적인 형태학적 이상을 동반한다. 시신경 크기, 시신경테의 모양, 망막신경섬유층의 두께뿐 아니라 사상판

의 두께 및 결손, 시신경 유두 주위 구조물인 중심망막 동맥, 짧은뒤섬모체동맥, 맥락막과 공막의 관찰 및 연구는 녹내장성 시신경병증의 병리·생리학적 특성을 파악하는 데 도움이 되는 것으로 보고되었다.<sup>1</sup>

이에 최근 수년 동안 빛간섭단층촬영기(optical coherence tomography, OCT)를 사용하여 녹내장에서 시신경유두 및 주위 구조물들에 대한 연구가 이루어져왔다.<sup>1-8</sup> 그러나 기존의 시간영역 빛간섭단층촬영기는 깊이에 따른 민감도의 감소와 색소 및 혈액에 의한 빛의 퍼짐으로 시신경 유두 및 주위 구조물, 특히 후부 구조물을 파악하는 데 제한된 능력

■ Received: 2014. 8. 14.      ■ Revised: 2014. 10. 10.

■ Accepted: 2015. 2. 4.

■ Address reprint requests to Tae Yoon Lee, MD

Cheil Eye Hospital, #1 Ayang-ro, Dong-gu, Daegu 701-820, Korea

Tel: 82-53-959-1751, Fax: 82-53-959-1758

E-mail: 10041419@naver.com

을 보였다. 이런 제한점을 극복하기 위해 초당 40,000회의 A-scan을 시행하여 시신경 유두의 모양과 조직의 구분을 명확하게 보여주는 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영기가 개발되었다.

이 중 Spectralis® OCT (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)의 enhanced depth imaging (EDI) 기술은 정상안과 녹내장안에서 맥락막의 깊은 층의 영상을 기준으로 하여 촬영하므로 사상판 및 후부 구조물에 대한 연구를 용이하게 해주었다. 그러나 사상판 뒷경계의 불확실성이 여전히 존재하여 OCT로 측정된 사상판 두께의 연구자에 따른 차이가 나타나고 백내장이 있는 눈에서는 사상판 및 후부 구조물의 관찰이 어려워 그 한계점을 나타내고 있다.<sup>9-11</sup>

Cirrus® OCT (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)는 기존의 시간영역 빛간섭단층촬영기에 비해 높은 축 해상도와 스캔 속도로, 더 많은 정보를 줄 수 있는 빛간섭단층촬영기로 각광받으며 녹내장의 진단과 진행의 모니터에 이용되어 왔다.<sup>2-4</sup> 최근에는 Cirrus® OCT에서도 EDI 모드로 사상판 및 후부 구조물의 관찰 및 연구가 가능하게 되었다.

이에 저자들은 사상판 및 후부 구조물의 관찰에 있어서 Spectralis® OCT와 Cirrus® OCT를 직접 비교한 연구는 없어 두 종류의 OCT에서 시신경 유두 및 시신경 유두 주위 해부학적 구조 분석 능력의 차이가 있는지 알아보고자 하였으며 두 OCT에서 사상판 두께 측정에 영향을 주는 인자를 분석하였다.

## 대상과 방법

2013년 1월부터 6월까지 제일안과병원에 내원한 환자 136명 136안을 대상으로 세극등검사(Slit lamp 900 BQ, Hagg-Streit AG, Koeniz, Switzerland), 자동굴절검사기(Canon, Inc., Tokyo, Japan)를 사용한 굴절이상 측정, 최대 교정시력, 안저검사 및 칼라안저사진촬영(Digital retinal camera CR-2, Canon, Inc., Tokyo, JAPAN), 골드만 압평안압계를 이용한 안압측정, 각막두께검사(Pachymeter SP-3000, Tomey, Corp., Nagoya, Japan), 전방각경검사(G-4 four-mirror glass gonio lens, Volk optical, Inc., OH, USA), 표준자동시야검사(Humphrey visual field analyzer, 24-2 Swedish interactive threshold algorithm standard strategy; Carl Zeiss Meditec, Inc., Dublin, DA)를 시행하였다. 대상자 중 전안부에 혼탁 등의 특이소견이 있거나 안저검사에서 고혈압망막병증이나 당뇨병망막병증 등 안저에 이상이 있으면 대상에서 제외하였다. 양안에 녹내장이 있거나 양안이 정상인 환자는 무작위로 단안을 선정하였고, 단안에 녹내장이 있는 환자는 녹내장안을 포함하였다. 녹내장의 진단기준은 녹내

장성 시신경 손상(시신경유두의 국소적 또는 미만성 소실, 국소적인 시신경유두에 패임, 망막신경섬유층의 소실)이 있고, 이에 상응하는 시야검사의 이상이 있는 경우로 정의하였다. 시신경유두함몰비는 칼라안저사진촬영 후 두 명의 관찰자(TYL, SY)가 측정한 평균값으로 하였다.

모든 대상자는 Cirrus® OCT 6.0 version (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)과 Spectralis® OCT (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)로 시신경을 검사 받았으며, 사상판 두께 측정의 재현성을 분석하기 위해 사상판 두께 측정이 가능했던 40안(정상안: 30안, 백내장안: 5안, 녹내장안: 5안)에서 1달 후 Cirrus® OCT와 Spectralis® OCT로 시신경을 재촬영하였다. Spectralis® OCT (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)의 EDI 모드는 사상판 두께 및 주위 구조물을 검사하기 위하여 시신경을 중심으로 하여 15x10-degree 직사각형의 수평 스캔과 10x15-degree 직사각형의 수직 스캔으로 이미지를 얻었으며 각 직사각형은 65개의 단면으로 스캔하고 각 단면은 평균 40 frame을 사용하였다. 시신경을 찍을 때, 보다 대물렌즈를 눈에 가까이 가져가서 기준면을 더 후방으로 이동시킴으로써 사상판 및 후부 구조를 잘 볼 수 있도록 하였다. Cirrus® OCT는 high definition 5-line raster의 EDI 모드로 검사를 시행하였다. 이는 각각 0.25 mm 간격으로 떨어져 있는 3 mm 길이의 평행선으로 각 선은 1024개의 A-scan으로 구성되어 있다. 사상판의 중심두께 측정을 위해서 5개 선 중 중심선은 항상 망막중심동-정맥의 기시부를 통과하도록 위치하였다.

두 독립된 측정자(TYL, SY)가 서로의 결과를 알지 못하는 상황에서, 두 OCT에서 얻은 영상에서 가능한 시신경의 중심부 아래 중심망막혈관가지를 포함한 스캔을 선택하여 사상판의 두께를 각각 측정하였고, 사상판 구멍을 관찰하였으며, 시신경 유두 주위 구조물인 중심망막동-정맥을 확인하였다. 이때 중심망막동맥은 일정한 직경을 가지는 직선의 모양으로 보이는 구조물, 중심망막정맥은 불규칙한 고르지 않는 모양을 가지며 혈관 분지를 가지는 구조물로 정의하였고, 이 두 혈관을 구분할 수 있는 경우는 각각 나누어서 분석하였으며, 구분할 수 없는 경우는 합쳐서 분석하였다. 그 밖에 공막을 뚫고 들어가는 도관 모양의 짧은뒤섬모체동맥의 확인과 맥락막 및 공막의 관찰을 시행하였다.<sup>1</sup> 사상판의 두께는 사상판의 중심두께를 기준으로 하였으며 이는 빛간섭단층촬영 영상에서 중심망막동정맥의 기시부의 이측 중심(시신경의 중심부) 아래의 고반사 영역의 앞경계면과 뒤경계면의 거리로 정의하였다. 두 OCT의 각각 내장된 프로그램으로 측정하였으며 두 명의 관찰자가 측정한 값의 평균을 이용하였다.

통계학적 분석은 PASW Statistics 18.0 version (SPSS inc.,

Table 1. Patient demographics and clinical information

	Total (n = 136)	Healthy eyes (n = 97)	Glaucomatous eyes (n = 39)	p-value
Sex (M/F) (n)	74/62	58/39	16/23	0.139*
Age (years)	56.41 ± 2.98	54.05 ± 12.59	62.28 ± 12.19	0.003†
Visual field test				
MD (dB)	-2.35 ± 3.06	-1.54 ± 2.22	-4.44 ± 6.14	<0.001†
PSD (dB)	2.37 ± 2.12	1.87 ± 1.49	3.70 ± 3.24	<0.001†
Cup-disc ratio	0.71 ± 0.13	0.68 ± 0.14	0.81 ± 0.16	0.003†
Spherical equivalent (diopter)	-0.96 ± 2.42	-0.98 ± 2.45	-0.75 ± 2.38	0.980†

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation.

\*Pearson's chi-square test; †One-way ANOVA.

Chicago, IL)을 이용하였으며, independent student *t*-test, chi-square test, one way ANOVA를 이용하여 Spectralis® OCT와 Cirrus® OCT 두 군을 비교하였고 Bland-Altman plot을 사용하여 전체 안에서 두 기계 간의 측정치의 차이를 분석하였다. 사상판 두께 측정의 위험요인을 multivariate logistic regression analysis를 이용하여 알아보았으며 재현성을 확인하기 위해 intraclass correlation coefficient (ICC)를 측정하였다. Fleiss et al<sup>12</sup>에 따르면  $\geq 0.75$ 일 때 높음, 0.75-0.4일 때 보통,  $\leq 0.4$ 일 때 낮음으로 구분하였다. 모든 경우에서 *p*값이 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의한 것으로 정의하였다.

## 결 과

대상군은 136안(정상안 97안, 녹내장안 39안)으로 이 중 남자 74안, 여자 62안이였다. 평균 연령은  $56.41 \pm 2.98$ 세, 평균 굴절력은  $-0.96 \pm 2.42$ 디옵터였다. 시야검사 결과에서 mean deviation (MD)은  $-2.35 \pm 3.06$  dB, pattern standard deviation (PSD)은  $2.37 \pm 2.12$  dB로 나타났다. 녹내장안에서는 나이( $62.28 \pm 12.19$ 세), MD ( $-4.44 \pm 6.14$  dB), PSD ( $3.70 \pm 3.24$  dB), 유두함몰비( $0.81 \pm 0.16$ )가 전체, 정상안과 비교하여 유의한 차이를 보였다(Table 1).

전체 136안에서 사상판의 뒤경계면이 관찰 가능했던 경우 전체 사상판의 두께를 측정할 수 있었으며 Spectralis® OCT에서는 91.9% (125안), Cirrus® OCT에서는 55.0% (71안)으로 Spectralis® OCT에서 유의하게 많은 사상판의 뒤경계면 관찰 및 두께 측정이 가능하였다( $p < 0.001$ ). 사상판의 앞경계면이 관찰가능했던 경우도 Spectralis® OCT (94.9%)에서 Cirrus® OCT (82.6%)보다 유의하게 많았다( $p = 0.002$ ). 그러나 사상판 구멍의 모양과 크기 관찰에서는 두 OCT 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 사상판 두께를 비교하였을 때 Cirrus® OCT를 이용한 경우( $205.6 \pm 25.5 \mu\text{m}$ )가 Spectralis® OCT를 이용한 경우( $218.1 \pm 27.7 \mu\text{m}$ )보다 유의하게 얇게

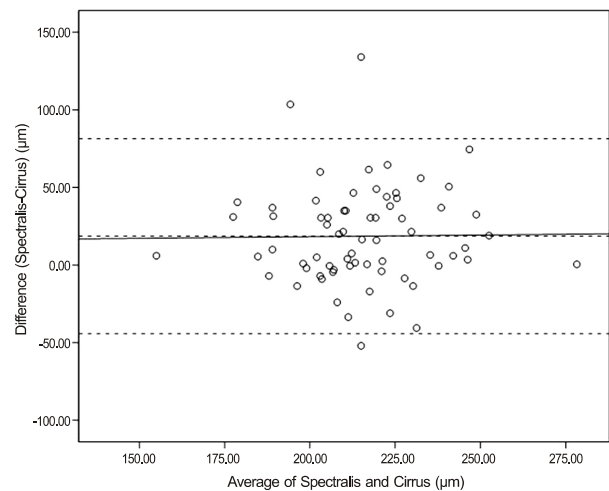


Figure 1. Bland-Altman plot for lamina cribrosa thickness. Mean difference is 18.61  $\mu\text{m}$ . The 95% limits of agreement for laminal thickness measurements are -40.90 to 80.14  $\mu\text{m}$ .

측정되었다( $p = 0.002$ ). Bland-Altman plot에서 두 기계 간 사상판 두께차이의 평균값은 18.61  $\mu\text{m}$ 로 Spectralis® OCT에서 더 두껍게 측정되었으나 두 기계 간에 systematic bias는 관찰되지 않았다(Fig. 1). 시신경유두 주위 해부학적 구조물 관찰에서는 짧은뒤섬모체동맥과 유두주위 공막이 Spectralis® OCT (29.4%, 94.9%)에서 Cirrus® OCT (6.1%, 68.9%)보다 유의하게 많이 관찰되었다( $p < 0.001$ , Table 2).

녹내장안에서는 Spectralis® OCT에서 94.9% (37안), Cirrus® OCT에서는 41.7% (15안)으로 Spectralis® OCT에서 유의하게 많은 사상판의 뒤경계면 관찰 및 두께 측정이 가능하였다( $p < 0.001$ ). 또한 사상판의 앞경계면이 관찰가능했던 경우도 Spectralis® OCT (100%)에서 Cirrus® OCT (81.6%)보다 유의하게 많았다( $p = 0.005$ ). 그러나 사상판의 두께는 Spectralis® OCT ( $215.7 \pm 27.9 \mu\text{m}$ )에서 Cirrus® OCT ( $204.2 \pm 31.8 \mu\text{m}$ )보다 두껍게 나타났지만 유의한 차이는 나타나지 않았다. 시신경 유두 주위 해부학적 구조물 관찰에서는 유두주위 공막이 Spectralis® OCT (87.2%)에서 Cirrus® OCT (42.1%)

**Table 2.** Lamina cribrosa and ONH Structures measured by Spectralis® OCT and Cirrus® OCT in all eyes (n = 136)

	Spectralis® OCT	Cirrus® OCT	p-value
Lamina cribrosa			
Thickness (μm)	218.1 ± 27.7	206.6 ± 25.5	0.002*
Anterior surface (n, %)	129 (94.9)	109 (82.6)	0.002†
Posterior surface (n, %)	125 (91.9)	71 (55.0)	<0.001†
Pore (n, %)	132 (97.1)	124 (93.9)	0.250†
Deep ONH structures (n, %)			
Central retinal vessel trunk	123 (90.4)	115 (87.1)	0.441†
Central retinal artery	18 (13.2)	11 (8.3)	0.239†
Central retinal vein	20 (14.7)	10 (7.6)	0.081†
Short posterior ciliary artery	40 (29.4)	8 (6.1)	<0.001†
Peripapillary choroid	135 (99.3)	129 (97.7)	0.365†
Peripapillary sclera	129 (94.9)	91 (68.9)	<0.001†

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

ONH = optic nerve head; OCT = optical coherence tomography.

\*Paired t-test; †Pearson's chi square test.

**Table 3.** Lamina cribrosa and ONH Structures measured by Spectralis® OCT and Cirrus® OCT in eyes with glaucoma (n = 39)

	Spectralis® OCT	Cirrus® OCT	p-value
Lamina cribrosa			
Thickness (μm)	215.7 ± 27.9	204.2 ± 31.8	0.235*
Anterior surface (n, %)	39 (100)	31 (81.6)	0.005†
Posterior surface (n, %)	37 (94.9)	15 (41.7)	<0.001†
Pore (n, %)	37 (94.9)	35 (92.1)	0.675†
Deep ONH structures (n, %)			
Central retinal vessel trunk	39 (100)	37 (97.4)	0.494†
Central retinal artery	7 (17.9)	4 (10.5)	0.517†
Central retinal vein	9 (23.1)	4 (10.5)	0.224†
Short posterior ciliary artery	9 (23.1)	4 (10.5)	0.224†
Peripapillary choroid	38 (97.4)	37 (97.4)	1.000†
Peripapillary sclera	34 (87.2)	16 (42.1)	<0.001†

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

ONH = optic nerve head; OCT = optical coherence tomography.

\*Paired t-test; †Pearson's chi square test.

보다 유의하게 많이 관찰되었다( $p < 0.001$ , Table 3).

본 연구에서는 사상판의 관찰에 영향을 줄 것으로 예상되는 백내장안(65안), 근시안( $\leq 6.0$ 디옵터, 10안), 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우(44안) 중 사상판 두께 측정을 어렵게 하는 인자를 찾기 위해 전체안, Spectralis® OCT, Cirrus® OCT 각각 나누어 분석하였다. 전체 안에서는 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우 앞, 뒤경계면 모두 관찰이 불가능하여 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우가 유의한 인자로 나타났으며( $p < 0.01$ ) Spectralis® OCT에서는 앞경계면 관찰에는 유의한 인자가 없었으며 뒤경계면관찰에는 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우가 유의한 인자로 나타났다( $p = 0.003$ ). Cirrus® OCT에서는 뒤경계면 관찰에서는 유의한 인자가 없었으나 앞경계면에서 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우가 유의한 인자로 나타났다( $p = 0.000$ , Table 4).

Spectralis® OCT 및 Cirrus® OCT로 측정된 사상판 두께

의 재현성을 확인하였다. Spectralis® OCT를 이용한 경우 관찰자간 ICC값은 0.913 (0.876-0.940), Cirrus® OCT의 관찰자간 ICC값은 0.812 (0.693-0.885) 보여, Fleiss et al<sup>12</sup>의 재현성 평가에서 두 종류의 OCT 모두 높은 재현성을 보였다. 관찰자 내 ICC값은 Spectralis® OCT를 이용한 경우 두 명의 관찰자 모두 높은 재현성을 보였고, Cirrus® OCT에서는 두 명의 관찰자 모두 보통의 재현성을 보였다(Table 5).

## 고 찰

본 연구의 전체안과 녹내장안에서 사상판 두께를 측정할 수 있었던 경우는 Spectralis® OCT에서 유의하게 많았다. 또한 Spectralis® OCT에서 짧은뒤섬모체동맥(전체 안)과 유두주위공막(전체 안, 녹내장안)을 관찰할 수 있었던 경우도 많았다. Cirrus® OCT의 EDI 모드는 각각 0.25 mm 간격으

**Table 4.** Multivariate logistic regression analysis for risk factor of lamina cribrosa thickness measurement

Risk factors	Odds ratio	95 % CI	p-value
Total			
Posterior surface			
C/D ratio $\leq 0.6$	2.127	1.217-3.717	0.008
Spherical equivalent $\leq -0.6$ diopter	1.367	0.498-3.749	0.544
Cataract	0.843	0.483-1.473	0.549
Anterior surface			
C/D ratio $\leq 0.6$	9.167	3.715-22.621	0.000
Spherical equivalent $\leq -0.6$ diopter	0.000	0.000	0.998
Cataract	0.516	0.220-1.213	0.129
Spectralis® OCT			
Posterior surface			
C/D ratio $\leq 0.6$	8.387	2.098-33.537	0.003
Spherical equivalent $\leq -0.6$ diopter	5.165	0.871-30.636	0.071
Cataract	0.737	0.191-2.850	0.658
Anterior surface			
C/D ratio $\leq 0.6$	0.000	0.000	0.996
Spherical equivalent $\leq -0.6$ diopter	0.000	0.000	0.999
Cataract	0.480	0.081-2.838	0.418
Cirrus® OCT			
Posterior surface			
C/D ratio $\leq 0.6$	1.681	0.802-3.523	0.169
Spherical equivalent $\leq -0.6$ diopter	0.665	0.173-2.555	0.552
Cataract	0.839	0.415-1.696	0.625
Anterior surface			
C/D ratio $\leq 0.6$	7.351	2.673-20.220	0.000
Spherical equivalent $\leq -0.6$ diopter	0.000	0.000	0.999
Cataract	0.498	0.180-1.377	0.179

CI = confidential interval; C/D ratio = cup-to-disc ratio; OCT = optical coherence tomography.

**Table 5.** Reproducibility of the lamina cribrosa thickness measured by Spectralis® OCT and Cirrus® OCT

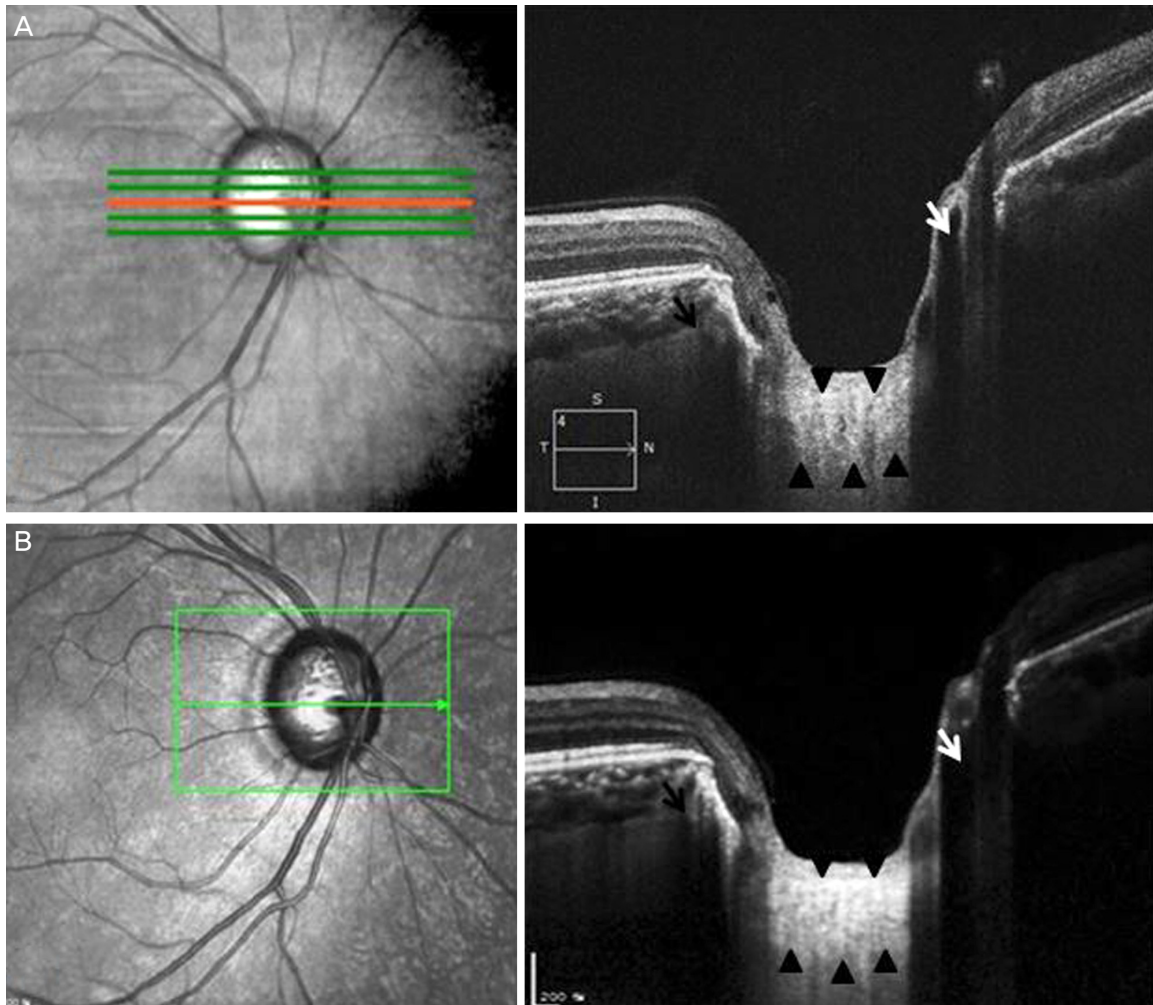
ICC	Spectralis® OCT (95 % CI)	Cirrus® OCT (95 % CI)
Intraobserver		
Observer 1	0.868 (0.744-0.932)	0.595 (-0.629 ~ 0.899)
Observer 2	0.758 (0.541-0.861)	0.540 (-0.723 ~ 0.789)
Interobserver	0.913 (0.876-0.940)	0.812 (0.693-0.885)

ICC = intraclass correlation coefficient; OCT = optical coherence tomography; CI = confidential interval.

로 떨어져 있는 3 mm 길이의 5개의 단면으로 영상을 얻게 되지만 Spectralis® OCT의 EDI 모드는 15x10-degree 직사각형의 수평 스캔과 10x15-degree 직사각형의 수직 스캔으로 이미지를 얻으며 각 직사각형은 65개의 단면으로 스캔을 시행한다. 따라서 Spectralis® OCT의 EDI 모드를 이용하였을 때, Cirrus® OCT의 EDI 모드보다 관찰 가능한 더 많은 단면의 영상을 얻을 수 있어 이러한 차이가 발생했다고 생각이 된다. 또한, 축 해상도가 Cirrus® OCT는 5  $\mu$ m, Spectralis® OCT는 3.9  $\mu$ m이고, 파장이 Cirrus® OCT는 840 nm, Spectralis® OCT는 870 nm이므로, Spectralis® OCT의 EDI 방법이 망막 색소상피 이상의 외측 망막층까지 깊은 영역의 영상을 제공하기 때문일 것으로 추측된다.

Cirrus® OCT를 이용한 경우 Spectralis® OCT를 이용한

경우보다 전체 안(205.6  $\pm$  25.5  $\mu$ m vs 218.1  $\pm$  27.7  $\mu$ m)에서 사상판 두께가 유의하게 얇게 측정되었다. 이전의 연구 결과들을 살펴보면 사상판의 두께는 대상군과 연구기관에 따라 다양하게 나타났다. Lee et al<sup>9</sup>의 연구에서 평균 사상판 두께는 정상안에서 254.80  $\pm$  69.31  $\mu$ m, 녹내장 의증에서 242.67  $\pm$  68.02  $\mu$ m, 녹내장안에서 215.67  $\pm$  58.26  $\mu$ m을 보였으며, Park et al<sup>10</sup>은 정상 대조군의 사상판 두께는 348.14  $\pm$  23.41  $\mu$ m, 개방각녹내장은 237.82  $\pm$  40.23  $\mu$ m, 그리고 정상안압녹내장은 175.11  $\pm$  22.60  $\mu$ m을 보였다. 이와는 반대로 Chung et al<sup>11</sup>은 정상안에서 146.5  $\pm$  12.1  $\mu$ m, 녹내장의 증에서 142.8  $\pm$  12.3  $\mu$ m, 녹내장안에서 137.7  $\pm$  12.2  $\mu$ m로 측정되어 상대적으로 얇게 측정되었다. 이런 결과는 OCT가 발전되었다 하더라도 뒤사상판 경계가 여전히 명확하지



**Figure 2.** Optic nerve head complex of cross-sectional images revealed using Cirrus® optical coherence tomography (OCT) (A), Spectralis® OCT (B). Black arrow heads in (A) and (B) denote suspected lamina cribrosa. Lamina cribrosa thickness was 230.77  $\mu\text{m}$  measured by Cirrus® OCT (A) and 297.69  $\mu\text{m}$  measured by Spectralis® OCT (B). Lamina cribrosa pores of various shapes and sizes well identified. Posterior border of lamina cribrosa is relatively less identified in (A). Central retinal vessel trunk (white arrow) passing through the lamina cribrosa identified. Short posterior ciliary artery (black arrow) are shown in the sclera draining into the choroid.

않다는 것을 보여준다고 생각한다. 본 연구에서도 사상판 두께 측정에서 앞사상판의 경계는 비교적 선명하게 나타났으나 뒤사상판의 경계는 모호한 경우가 있었다(Fig. 2). 특히 Cirrus® OCT는 840 nm의 단파장을 사용하므로 870 nm를 사용하는 Spectralis® OCT에 비해 상대적으로 영상의 투과성이 낮고 해상도가 떨어져서 해부학적인 뒤사상판 경계의 불명확한 경우가 많았다. 또한 안구추적장치가 없어서 동일안에서도 스캔위치에 따라 뒤사상판의 경계를 확인하기 어려운 경우도 있었다.

사상판의 관찰이 용이하지 않을 것으로 예상되는 백내장 안 및 근시안( $\leq 6.0$ 디옵터), 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우 중 전체안 및 두 OCT 각각에서 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우가 사상판의 두께 측정에 영향을 주는 인자

로 나타났다. Park et al<sup>1</sup>은 EDI Spectralis® OCT를 이용한 연구에서 사상판 앞에 망막과 맥락막 혈관구조가 존재할수록 사상판의 확인이 어려워져 앞사상판 경계는 65%까지 확인 가능하나 뒤사상판 경계는 관찰되지 않는 경우가 많았다고 하여 본 연구의 결과와 유사하였다. 백내장이 OCT 영상에 영향을 미친다는 것은 잘 알려졌지만<sup>13</sup> 본 연구에서는 백내장이 결과에 영향을 많이 미치지 않았는데 이는 백내장 환자의 대부분이 경도 및 중등도의 백내장을 가지고 있었기 때문으로 추측된다. 또한 근시도 사상판 두께 측정에 영향을 미치지 않았는데 Lee et al<sup>9</sup>은 고도근시에서도 사상판의 관찰 및 두께의 측정이 가능하다고 하였으며 Park et al<sup>1</sup>은 고도근시안의 경우 유두주위 위축의 결과로 시신경유두 구조물의 가시성을 높여줄 수 있다고 하여 본 연구와

유사한 결과를 나타내었다.

본 연구에서 사상판 두께 측정에 대한 두 OCT의 재현성을 알아보았는데 관찰자 간의 재현성은 두 OCT 모두 높았으나 관찰자내의 재현성은 Spectralis® OCT에서 Cirrus® OCT보다 상대적으로 높게 나타났다. 이는 동일영상에서 각 관찰자가 앞, 뒤사상판 경계를 구분하는 기준은 유사함을 보여주며 Spectralis® OCT와 Cirrus® OCT를 다시 촬영하였을 경우 비슷한 영상이 나올 가능성이 Cirrus® OCT에서 낮다는 것을 의미하기도 한다. 이전 연구결과들에서 Spectralis® OCT의 EDI 모드는 관찰자 내, 관찰자 간 재현성이 ICC값 0.75 이상으로 높게 나타났으며 이는 본 연구의 결과와 일치하였다.<sup>14</sup> Cirrus® OCT의 EDI 모드 재현성을 보고한 연구는 없었지만 이전까지의 Cirrus®와 타 OCT를 이용한 망막신경섬유층 두께 연구에서는 Cirrus®가 반복성이 우수하다고 보고되었다.<sup>3,15-18</sup> 이는 본 연구의 결과와는 다른 부분이 있는데 이런 차이는 망막신경섬유층과는 달리 사상판은 뒤쪽에 위치하며 EDI 모드로 사상판을 측정하는 데 시간이 더 많이 걸려 안구추적장치가 없는 경우 동일한 위치의 촬영이 어렵기 때문인 것으로 생각한다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 우선 대상환자 수가 적고, 포함된 환자들 중 초기 녹내장 환자들 많았으며 진행된 백내장 환자들 적었다. 또한 고도근시 환자도 적게 포함되어 있어 근시에서 두 OCT를 비교하기에는 제한점이 있었다. 향후 좀 더 많은 환자를 대상으로 하여 진행된 녹내장, 백내장, 근시 환자에서도 두 OCT를 비교하는 연구가 필요하다고 생각한다.

결론적으로, Cirrus® OCT와 Spectralis® OCT를 이용하여 사상판 및 시신경 유두 주위 해부학적 구조 분석능력을 비교한 결과 Spectralis® OCT는 Cirrus® OCT보다 사상판, 혈관 조직, 유두주위 맥락막 및 공막을 보는 데 유용한 면이 있으며, 재현성도 높으므로 사상판과 후부 구조물의 관찰 및 연구에 유용할 것으로 생각한다. 다만 시신경유두함몰 비가 0.6 이하인 경우에는 두 OCT 모두 사상판 두께 측정에 제한점이 있었다.

## REFERENCES

- 1) Park SC, De Moraes CG, Teng CC, et al. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of deep optic nerve complex structures in glaucoma. *Ophthalmology* 2012;119:3-9.
- 2) Shin HY, Park HY, Jung KI, Park CK. Glaucoma diagnosis optic disc analysis comparing Cirrus spectral domain optical coherence tomography and Heidelberg retina tomograph II. *Jpn J Ophthalmol* 2013;57:41-6.
- 3) Shpak AA, Sevostyanova MK, Ogorodnikova SN, Shormaz IN. Comparison of measurement error of Cirrus HD-OCT and Heidelberg Retina Tomograph 3 in patients with early glaucomatous visual field defect. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2012;250:271-7.
- 4) 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.
- 5) Vilupuru AS, Rangaswamy NV, Frishman LJ, et al. Adaptive optics scanning laser ophthalmoscopy for in vivo imaging of lamina cribrosa. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2007;24:1417-25.
- 6) Kagemann L, Ishikawa H, Wollstein G, et al. Ultrahigh-resolution spectral domain optical coherence tomography imaging of the lamina cribrosa. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2008;39(4 Suppl):S126-131.
- 7) Strouthidis NG, Grimm J, Williams GA, et al. A comparison of optic nerve head morphology viewed by spectral domain optical coherence tomography and by serial histology. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:1464-74.
- 8) Yang H, Downs JC, Burgoyne CF. Physiologic intereye differences in monkey optic nerve head architecture and their relation to changes in early experimental glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:224-34.
- 9) Lee EJ, Kim TW, Weinreb RN, et al. Visualization of the lamina cribrosa using enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2011;152:87-95.e1.
- 10) Park HY, Jeon SH, Park CK. Enhanced depth imaging detects lamina cribrosa thickness differences in normal tension glaucoma and primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 2012;119:10-20.
- 11) Chung HS, Sung KR, Lee KS, et al. Relationship between the lamina cribrosa, outer retina, and choroidal thickness as assessed using spectral domain optical coherence tomography. *Korean J Ophthalmol* 2014;28:234-40.
- 12) Fleiss JL, Levin B, Paik MC. Statistical methods for rates and proportions, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2003;604.
- 13) Bambo MP, Garcia-Martin E, Otin S, et al. Influence of cataract surgery on repeatability and measurements of spectral domain optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol* 2014;98:52-8.
- 14) Tan BB, Natividad M, Chua KC, Yip LW. Comparison of retinal nerve fiber layer measurement between 2 spectral domain OCT instruments. *J Glaucoma* 2012;21:266-73.
- 15) Yang B, Ye C, Yu M, et al. Optic disc imaging with spectral-domain optical coherence tomography: variability and agreement study with Heidelberg retinal tomograph. *Ophthalmology* 2012;119:1852-7.
- 16) Kim SY, Park HY, Park CK. The effects of peripapillary atrophy on the diagnostic ability of Stratus and Cirrus OCT in the analysis of optic nerve head parameters and disc size. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:4475-84.
- 17) Paik DW, Lee JH, Kim JS. Age-related changes in the thickness of the lamina cribrosa measured by spectral domain OCT. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:1261-8.
- 18) Lee KH, Lee SC, Lee CS. Reproducibility of choroidal thickness in normal Korean eyes using two spectral domain optical coherence tomography. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:1365-70.



= 국문초록 =

## 두 종류의 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영기를 사용한 시신경 유두의 해부학적 구조 분석능력 비교

**목적:** 두 종류(Cirrus®, Spectralis®)의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기(spectral domain optical coherence tomography, SD-OCT)를 이용하여 시신경 유두 및 시신경 유두 주위 해부학적 구조 분석 능력의 차이가 있는지 알아보려고 하였다.

**대상과 방법:** 병원에 내원한 환자 136명 136안을 대상으로 두 SD-OCT의 enhanced depth imaging (EDI) 방법을 사용하여 전체안과 녹내장안에서 사상판 및 유두주위 해부학적 구조물을 관찰하여 비교 분석하였으며 사상판 두께 측정에 영향을 주는 인자를 알아보았다. 또한 두 OCT의 사상판 두께 측정의 재현성도 비교하였다.

**결과:** 전체안과 녹내장안에서 Spectralis® OCT에서 유의하게 사상판 두께를 측정할 수 있었던 경우가 유의하게 많았고 짧은뒤섬모체 동맥(전체안), 유두주위공막(전체안, 녹내장안)을 관찰할 수 있었던 경우도 유의하게 많았다( $p < 0.001$ ). 시신경유두함몰비가 0.6 이하인 경우가 사상판 두께 측정을 어렵게 하는 유의한 인자로 나타났다( $p < 0.05$ ). 사상판 두께 측정의 관찰자 간 재현성은 두 종류의 OCT 모두 높은 재현성을 보였고, 관찰자 내 재현성은 Spectralis® OCT는 높은 재현성을 보였고, Cirrus® OCT는 보통의 재현성을 보였다.

**결론:** Spectralis® OCT는 Cirrus® OCT보다 사상판 및 주위구조물을 관찰하는 데 유용한 면이 있으며, 재현성도 높으므로, 사상판과 후부 구조물의 관찰 및 연구에 유용할 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2015;56(3):371-378〉