대한안과학회지 2012년 제 53 권 제 1 호
J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(1):103-110
pISSN: 0378-6471
eISSN: 2092-9374
http://dx.doi.org/10.3341/jkos.2012.53.1.103

스펙트럼영역과 시간영역 빛간섭단층촬영기로 측정한 망막신경섬유층 두께 비교

이주향 · 송인석 · 김유정 · 차용재 · 엄기방

한양대학교 의과대학 안과학교실

목적: 시간영역 빛간섭단층촬영기(stratus-optical coherence tomography)와 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기(3D-OCT)로 측정한 망막신경섬유층의 두께를 비교하였다.
대상과 방법: 정상 69안과 녹내장 92안을 대상으로 같은 날 Stratus-OCT의 fast RNFL scan과 3D-OCT의 optic disc cube scan으로 유두주위 망막신경섬유층 두께를 구하였고, 두 측정치의 연관성을 알아보기 위해 상관분석과 Bland-Altman plot을 이용하였다.
결과: 전 대상에서 평균, 상사분면, 하사분면 망막신경섬유층 두께는 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 두꺼웠고, 반면에 이측사분면, 비측사분면에서는 3D가 Stratus보다 두꺼웠다. 두 기기 간에 절대치는 차이가 있었으나 상관계수는 높았다(r=0.678-0.905). Bland-Altman plot에서 상대적으로 두꺼운 망막신경섬유층 두께에서는 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 두껍게 측정되었고, 얇은 두께에서는 3D가 Stratus보다 두껍게 측정되었다.
결론: 두 기기의 측정치를 비교할 때 망막신경섬유층 두께에 따라 차이가 있음을 고려하여야 한다.
〈대한안과학회지 2012;53(1):103-110〉

빛간섭단층촬영기는 비접촉, 비침습적인 방법으로 녹내장과 망막질환을 진단하기 위한 영상기기이다. 조직과 기준거울(reference mirror)에서 반사되는 빛의 시간 차이를 간섭계로 측정하여 고해상도의 망막, 유두주위 망막신경섬유층, 시신경유두 횡단면을 보여주며, 재현성이 높다고 알려져 있다.[1] 기존의 시간영역 빛간섭단층촬영기는 기준거울을 움직여 신호를 전달하여 시간이 많이 소요되나, 최신 모델인 스펙트럼영역(spectral domain 혹은 fourier-domain) 빛간섭단층촬영기는 기준거울의 움직임 없이 주파수스펙트럼(frequency spectrum)에서 간섭 정보를 획득하며 인접 A-라인 데이터를 평균화하여 푸리에 변환을 하는 방식으로 시간영역 기술보다 많은 데이터를 처리함으로써 감도 저하 없이 실시간으로 2차원 및 3차원 망막의 구조를 고속으로 파악할 수 있는 방법이다.

3D 빛간섭단층촬영기 1000 (3D-OCT)은 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기의 하나로 광원은 840 nm 파장을 가진 초발광다이오드를 사용하며, 스위프스캔 기술(sweep-scan technique)을 이용하여 스캔 속도가 초당 18,700 A-lines로 시간영역 기술인 Stratus-OCT보다 50배 빠르고, 축해상도는 시간영역 기술인 Stratus-OCT가 8-10 μm이나 스펙트럼영역 기술에서는 4.3 μm로 높다.[2-4]

시간영역 빛간섭단층촬영기가 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기로 교체됨으로써 측정치에 어떠한 차이가 있는지 자연히 의문이 생긴다. 본 연구에서는 정상안과 녹내장안을 대상으로 시간영역 빛간섭단층촬영기인 Stratus-OCT와 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기인 3D-OCT로 측정한 망막신경섬유층 두께의 차이와 연관성을 알아보고자 하였다.

대상과 방법

내원한 환자들 중 안과 검사에서 정상소견을 보인 69명 69안(정상군)과 녹내장 환자 92명 92안(녹내장군)을 대상으로 하였고, 양안이 대상에 해당될 경우 한쪽 눈만 무작위로 선정하였다.

모든 대상자에서 병력조사, 시력측정, 골드만 안압측정, 세극등을 이용한 전안부검사, 앞방각경검사, 초음파를 이용한 중심각막두께측정(Sp-300, Tomey Co., Japan), 검안경을 이용한 시신경유두검사, Humphrey C 30-2 시야검사(Humphrey Instruments, San Leandro, CA, USA), 망막신경섬유층 및 시신경유두사진촬영(TRC-50 IA, Topcon

■ 접 수 일: 2011년 4월 15일 ■ 심사통과일: 2011년 7월 20일
■ 게재허가일: 2011년 10월 29일

■ 책 임 저 자: 엄 기 방
서울시 성동구 왕십리로 222
한양대학교병원 안과
Tel: 02-2290-8570, Fax: 02-2291-8517
E-mail: KBUhm@hanyang.ac.kr

* 본 논문의 요지는 2011년 대한안과학회 제105회 학술대회에서 구연으로 발표되었음.

Inc., Tokyo, Japan), Stratus-OCT (version 4.0.2, Optical coherence tomography, Carl Zeiss Meditec, Inc., Dublin, CA, USA), 3D-OCT 1000 (Topcon Inc., Tokyo, Japan) 검사를 시행하였다.

최대교정시력이 0.5 이상, 구면렌즈 대응치가 -6.0D에서 +3.0D 사이인 경우가 연구대상에 포함되었고, 당뇨망막병증 등 망막질환, 포도막염, 시야나 시신경에 영향을 줄만한 내과 또는 신경과 질환이 있는 환자는 대상에서 제외하였다.

녹내장안은 녹내장성 시신경손상과 시야검사상 녹내장성 시야결손을 모두 보이는 경우였다. 녹내장성 시신경손상은 국소적이거나 전반적인 시신경테의 얇아짐 또는 패임이 있거나 양안의 수직유두함몰비 차이가 0.2 이상, 망막신경섬유층결손, 시신경유두출혈이 있는 경우였다. 정상안은 안압이 21 mmHg 이하이며 안압 상승의 기왕력이 없었고, 녹내장성 시신경손상 및 시야검사상 녹내장성 시야결손이 없는 경우였다.

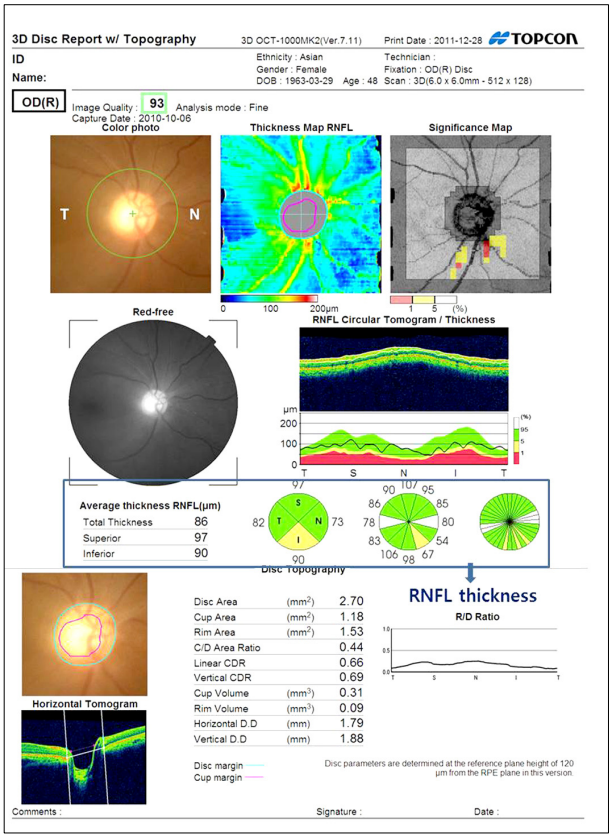

Figure 1. 3D-OCT 1000 analysis report. An optic disc cube scan protocol was used to measure the RNFL thickness in a 6 × 6 mm^2 area consisting of 512 × 128 axial scans (pixels) at the optic disc region. The average, quadrant, and clock-hour peripapillary RNFL thickness measurements were reported using the same categorical classification (in white or green = within normal limits, yellow = borderline, red = outside normal limits) as in the Stratus OCT.

녹내장성 시야결손은 Humphrey C 30-2 threshold test에서 최소한 2회 이상 glaucoma hemifield test가 outside normal limit이거나 pattern standard deviation이 5% 미만이거나 pattern deviation plot에서 가장자리를 제외한 부위에서 인접한 3개 이상 점의 역치가 정상의 5% 미만으로 나타나고 그중 한 개 이상은 1% 미만인 경우로 정하였다. 주시상실 20% 미만, 가양성과 가음성 반응이 30% 미만으로 신뢰할 만한 결과와 재현성 있는 경우만을 대상에 포함시켰다.

충분히 산동한 후 같은 날 동일한 검사자가 Stratus-OCT와 3D-OCT로 연속 촬영하였다. Stratus-OCT는 소프트웨어 버전 4.0.2를 이용하여 측정하였다. 시신경유두주위 망막신경섬유층에 직경 3.4 mm의 동심원을 따라 256개의 지점에서 망막신경섬유층 두께를 측정하는 fast retinal nerve fiber layer thickness scan을 이용하였다. 90도 간격으로 4등분한 사분면, 360도의 평균망막신경섬유층 두께(average retinal nerve fiber layer thickness)를 구하였다. 망막상이 잘 맺히고, 시신경유두를 중심으로 한 동심원의 중심이탈이 없고, 6 이상의 signal strength를 보이는 경우만 대상에 포함시켰다.

3D-OCT는 optic disc cube 512×128 스캔을 이용하였다(Fig. 1). 시신경유두를 중심으로 가로 세로 6 mm 사각형 부위를 512 A-스캔(1B-스캔)으로 구성된 수평선 B-스캔을 128회 하여 망막신경섬유층 두께를 구하였다. 눈의 움직임이나 깜박거림으로 인한 상의 뒤틀림, 혈관의 어긋남, 원형 스캔의 중심이탈이 있는 경우는 대상에서 제외하였고 quality factor가 45 이상인 경우만 포함시켰다.[5] 두 OCT 자체의 정상치 자료와 환자의 검사치를 소프트웨어가 비교하여 5% 미만으로 분류된 경우를 비정상으로 간주하였다.

두 종류의 OCT로 측정된 망막신경섬유층의 두께를 paired *t*-test로 비교하였고, Pearson 상관분석을 하였다. 두 OCT로 측정된 망막신경섬유층 두께의 연관성(proportional bias)을 알아보기 위해 Bland-Altman plot을 사용하였으며, 이는 두 기기의 평균치와 두 기기 측정값의 차이를 보여준다. 또한 급내상관계수(intraclass correlation coefficient)는 두 OCT 망막신경섬유층 두께를 비교하기 위하여 사용하였다. 두 OCT의 정상, 비정상으로 분류된 일치성을 알아보기 위하여 Cohen's kappa coefficient (0.0-0.2=매우 약함, 0.21-0.40=약함, 0.41-0.60=보통, 0.61-0.80=강함, 0.81-1=매우 강함)를 구하였다.[6] 통계학적 분석은 MedCalc version 9.3.7.0 (MedCalc Software, Mariakerke, Belgium)

과 SPSS version 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였고 유의수준은 0.05 미만으로 정하였다.

결 과

정상군과 녹내장군 간에는 연령, 좌우안, 중심각막두께, Heidelberg retina tomograph II (version 3.04, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)로 측정한 시신경유두면적은 유의한 차이가 없었고, 남녀의 분포, 굴절이상, Humphrey 자동 시야검사상 mean deviation과 pattern standard deviation은 유의한 차이가 있었다(Table 1).

정상군과 녹내장군을 포함한 전 대상에서 망막신경섬유층 두께는 평균(차이=평균 1.95 μm), 상사분면(4.30 μm), 하사분면(8.07 μm)에서 stratus-OCT가 3D-OCT보다 두꺼웠고, 이측사분면(-2.04 μm), 비측사분면(-3.50 μm)은 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 유의하게 두꺼웠다(Table 2). 두 OCT로 측정된 망막신경섬유층 두께의 평균치와 두 기기로 측정된 망막신경섬유층 두께의 차이를 선형회귀분석한 결과, 평균(r=0.372, p<0.001), 상사분면(r=0.279, p<0.001), 하사분면 망막신경섬유층 두께(r=0.530, p<0.001)의 Bland-Altman plot에서는 유의한 proportional bias가 있었고, 이측사분면 두께(r=0.153, p=0.052)의 Bland-Altman plot에서는 경계적으로 유의한 proportional bias가 있어서, 상대적으로 두꺼운 망막신경섬유층에서는 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 망막신경섬유층 두께가 두껍게 측정되었고 얇은 망막신경섬유층에서는 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 두껍게 측정되었다. 비측사분면의 Bland-Altman plot에서는 proportional bias가 없었다(Fig. 2). 두 기기 간에 절대치는 차이가 있었으나 망막신경섬유층 두께의 상관계수는 하사분면이 0.905로 가장

Table 1. Subject characteristics

	Normal (n = 69)	Glaucoma (n = 92)	p
Age (yr)	56.5 ± 10.1	59.4 ± 12.0	0.10*
Gender (M:F)	29:40	57:35	0.02†
Eye (right:left)	37:32	45:47	0.63†
Spherical equivalent (diopters)	-0.02 ± 1.22	-0.76 ± 1.98	0.004*
Pachymetry (μm)	541.5 ± 35.1	536.3 ± 37.2	0.37*
Mean Deviation (dB)	-2.28 ± 1.15	-8.13 ± 6.01	<0.001*
Pattern Standard Deviation (dB)	1.71 ± 0.58	6.79 ± 4.09	<0.001*
Disc area (mm^2)‡	2.23 ± 0.40	2.20 ± 0.43	0.66*

Data are expressed as mean ± standard deviation.
*By unpaired t-test; †By Chi-square test; ‡Measured using the Heidelberg Retina Tomograph II (version 3.04, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany).

Table 2. Mean (95% confidence interval) average and quadrant-wise retinal nerve fiber layer thickness and correlation between Stratus-OCT and 3D-OCT in the 69 normal subjects and 92 glaucoma patients

	Thickness by stratus (μm)	Thickness by 3D (μm)	r	p*	Difference	p†
Average	90.7 (87.5-94.0)	88.8 (86.0-91.5)	0.897	<0.001	1.95 ± 9.34	0.009
Temporal quadrant	68.6 (66.0-71.2)	70.6 (68.3-73.0)	0.728	<0.001	-2.04 ± 11.91	0.03
Superior quadrant	109.2 (104.7-113.7)	104.9 (101.1-108.7)	0.811	<0.001	4.30 ± 16.83	0.001
Nasal quadrant	71.9 (68.8-74.9)	75.4 (72.6-78.2)	0.678	<0.001	-3.50 ± 15.13	0.004
Inferior quadrant	111.7 (106.0-117.4)	103.7 (99.3-108.0)	0.905	<0.001	8.07 ± 16.41	<0.001

*p = correlation; †p = paired t-test

Table 3. Comparison of retinal nerve fiber layer thickness measured by Stratus-OCT and 3D-OCT

	Normal (n = 69)		p	Glaucoma (n = 92)		p
	Stratus-OCT	3D-OCT		Stratus-OCT	3D-OCT	
Average (μm)	107.6 ± 10.0	102.1± 9.0	<0.001	78.1 ± 18.0	78.8 ± 15.8	0.51
Temporal quadrant (μm)	77.8 ± 13.6	78.9 ± 13.3	0.47	61.7 ± 15.8	64.4 ± 13.4	0.02
Superior quadrant (μm)	128.6 ± 15.8	121.2 ± 12.3	<0.001	94.7 ± 27.6	92.7 ± 23.8	0.36
Nasal quadrant (μm)	81.5 ± 17.3	82.7 ± 14.3	0.41	64.7 ± 18.2	69.9 ± 18.3	0.004
Inferior quadrant (μm)	141.2 ± 18.7	125.8 ± 11.9	<0.001	89.6 ± 30.9	87.1 ± 25.3	0.11

Data are expressed as mean ± standard deviation.
By paired t-test

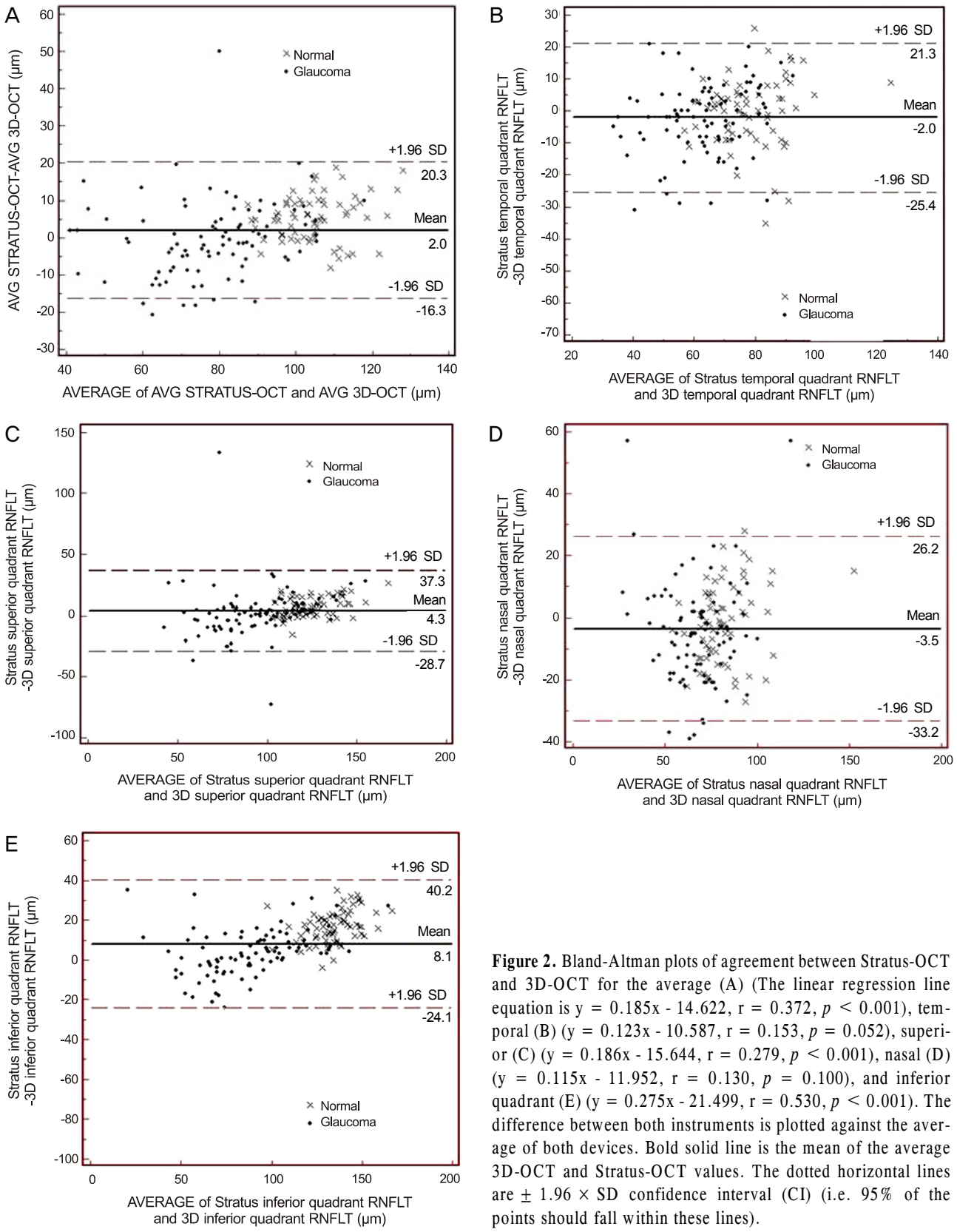

Figure 2. Bland-Altman plots of agreement between Stratus-OCT and 3D-OCT for the average (A) (The linear regression line equation is y = 0.185x - 14.622, r = 0.372, $p < 0.001$), temporal (B) (y = 0.123x - 10.587, r = 0.153, $p = 0.052$), superior (C) (y = 0.186x - 15.644, r = 0.279, $p < 0.001$), nasal (D) (y = 0.115x - 11.952, r = 0.130, $p = 0.100$), and inferior quadrant (E) (y = 0.275x - 21.499, r = 0.530, $p < 0.001$). The difference between both instruments is plotted against the average of both devices. Bold solid line is the mean of the average 3D-OCT and Stratus-OCT values. The dotted horizontal lines are ± 1.96 × SD confidence interval (CI) (i.e. 95% of the points should fall within these lines).

높았고, 평균(0.897), 상사분면(0.811), 이측사분면(0.728), 비측사분면(0.678) 순으로 높았다(Fig. 3, Table 2).

정상군에서 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 평균, 상사분면, 하사분면 망막신경섬유층 두께가 두꺼웠고, 이측사분면

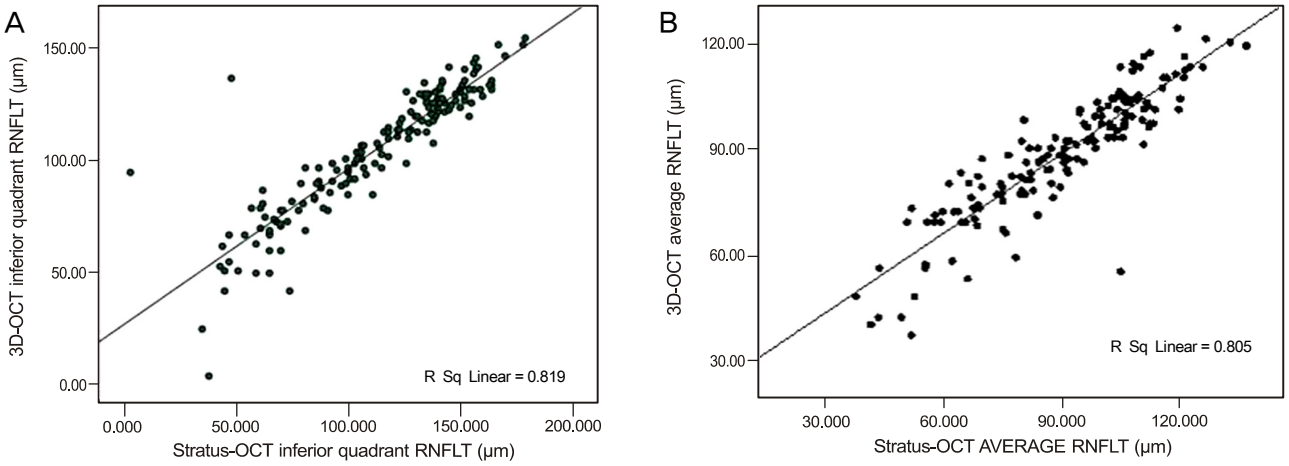

Figure 3. Scatter plots showing the relationship between Stratus-OCT and 3D-OCT retinal nerve fiber layer thickness (RNFLT) for the inferior quadrant (A) and average (B).

비측사분면 망막신경섬유층 두께는 유의한 차이가 없었다. 녹내장군에서 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 이측사분면, 비측사분면 망막신경섬유층 두께가 두꺼웠고, 평균, 상사분면, 하사분면 망막신경섬유층 두께는 유의한 차이가 없었다(Table 3).

급내상관계수는 평균 망막신경섬유층 두께(0.938, 95% 신뢰구간=0.916-0.955, p<0.001)가 가장 높았고, 하사분면(0.933, 95% 신뢰구간=0.908-0.951, p<0.001), 상사분면(0.889, 95% 신뢰구간=0.848-0.918, p<0.001), 이측사분면(0.840, 95% 신뢰구간=0.782-0.833, p<0.001), 비측사분면 망막신경섬유층 두께(0.806, 95% 신뢰구간=0.735-0.858, p<0.001) 순이었다.

두 영상기기의 5% 미만으로 비정상인 사분면의 Cohen's kappa coefficient는 하사분면(0.870, p<0.001)이 가장 높았고, 상사분면(0.756, p<0.001), 이측사분면(0.486, p<0.001), 비측사분면(0.354, p<0.001) 순이었다.

고 찰

본 연구 결과 정상군에서는 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 평균, 상사분면, 하사분면 망막신경섬유층 두께가 두꺼웠다. 녹내장군에서 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 이측과 비측사분면 망막신경섬유층 두께가 두꺼웠다. 정상군과 녹내장군을 포함한 전 대상에서 망막신경섬유층 두께는 평균, 상사분면, 하사분면에서 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 두꺼웠고, 반면에 이측과 비측사분면은 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 두꺼웠다. 두 기기 측정값의 평균치와 두 기기 측정값의 차이를 선형회귀분석한 결과, 비측사분면을 제외한 평균, 상사분면, 하사분면, 이측사분면 망막신경섬유층 두께의 Bland-Altman plot에서는 양의 상관관계로 proportional bias가 있어서 상대적으로 두꺼운 망막신경섬유층에서는 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 망막신경섬유층 두께가 두껍게 측정되었고, 얇은 망막신경섬유층에서는 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 두껍게 측정되었다(Fig. 2).

여러 종류의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기와 시간영역 빛간섭단층촬영기로 측정한 망막신경섬유층 두께를 비교한 연구에서 두 기기로 측정한 망막신경섬유층 두께는 상관관계가 높았으나 측정치는 유의한 차이가 있다고 하였다.[7-10] 스펙트럼영역 Cirrus OCT는 시간영역 빛간섭단층촬영기보다 망막신경섬유층 두께가 얇게 측정되었고,[7-9] 스펙트럼영역 RTVue OCT와 SD-SLO/OCT는 시간영역 빛간섭단층촬영기보다 두껍게 측정된다고 하였다.[10,11] 그러나 망막신경섬유층이 매우 얇은 경우는 본 연구의 결과와 같이 Cirrus OCT와 RTVue OCT 모두 시간영역 빛간섭단층촬영기보다 두껍게 측정된다고 하였다.[7-12]

영상기기에 따라 망막신경섬유층 두께가 차이가 나는 이유는 불분명하나 해상도, 시신경유두를 중심으로 원형 스캔이 자동 또는 수동으로 놓이는 방법, 보간법이 적용되는 정도, 영상의 질, 망막신경섬유층 두께의 외측 경계를 정하는데 사용되는 알고리즘 등이 관련이 있어 보인다.

이전의 연구에서 Stratus-OCT의 fast RNFL protocol이 고밀도의 standard RNFL protocol보다 망막신경섬유층이 두껍게 측정되어 스캔의 해상도가 망막신경섬유층 두께에 영향을 미친다고 하였다.[13,14]

시신경유두를 중심으로 자동 또는 수동으로 원형 스캔이 놓이는 방법에 따라 망막신경섬유층 두께에 영향을 미칠 수 있다. Stratus-OCT는 검사자가 수동으로 시신경유두에서 직경 3.4 mm의 동심원 스캔이 놓이도록 하나, 3D-OCT는 6×6 mm 부위에서 optic disc cube 스캔을 하면 소프트웨어가 시신경유두 중심을 결정하고 이 곳을 중심으로 한

직경 3.4 mm 원의 망막신경섬유층 두께가 자동으로 측정되며, 스캔 속도가 초당 18,700 A-스캔으로 빠르므로 불수의 안운동으로 인한 오류가 적다.

Stratus의 fast RNFL scan은 시신경유두를 중심에 둔 3.4 mm 직경의 256 A-스캔 원형 주사를 3회 연속적으로 하여 자동으로 합성상을 만든다. 주사 사이의 공백을 채우기 위한 새로운 점을 만들기 위해 수많은 점들을 평균화시키는 보간법(interpolation)이 사용된다.[15,16] 3D-OCT의 optic disc cube 스캔은 6×6 mm 부위에서 512개의 A-스캔으로 이루어진 B-스캔(horizontal line scans)을 128회 하여 얻어진 자료(512×128 화소)를 추출하여 시신경유두를 중심에 둔 직경 3.4 mm 원의 망막신경섬유층 두께가 자동으로 측정된다.[5] 보간법이 매우 적으므로 더 세밀한 망막의 정보를 얻을 수 있다.

Hood et al[2]은 3D-OCT 1000과 Stratus-OCT의 망막신경섬유층 두께를 비교하였다. 두 영상기기는 상관계수가 0.93으로 높았으며, 망막신경섬유층이 매우 얇은 경우 3D-OCT 알고리즘은 spatial averaging (보간법)이 매우 적으므로 혈관들이 망막신경섬유층에 포함되어 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 망막신경섬유층이 두껍게 측정된다고 하였다. 반면에 spatial averaging이 많은 Stratus-OCT 알고리즘은 신호가 거의 없는 인접한 부위와 평균화되므로 혈관의 신호가 흔히 제외되어 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 얇게 측정된다고 하였다. 반대로 망막신경섬유층이 비교적 두꺼운 경우에는 spatial averaging이 많은 Stratus-OCT에서는 혈관들이 망막신경섬유층에 포함되어 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 망막신경섬유층이 두껍게 측정된다고 하였다. 또한 혈관들이 망막신경섬유층 두께에 영향을 미칠 수 있으며, 망막신경섬유층 프로필에 영향을 미친다는 보고도 있다.[17,18]

스펙트럼영역과 시간영역 빛간섭단층촬영기를 비교한 이전의 연구에서 두 기기의 평균 망막신경섬유층 두께, 하사분면과 상사분면 망막신경섬유층 두께는 상관관계가 강했고, 이측과 비측사분면 망막신경섬유층 두께는 상관관계가 조금 약하다고 하였다.[9,19,20] 비측사분면은 상관관계와 반복성이 약한데 이는 레이저 광선의 입사각으로 인하여 비측사분면이 어두운 것과 관련이 있다고 하였다.[21] 저자들의 결과에서도 두 기기 간에 절대치는 차이가 있었으나 망막신경섬유층 두께의 상관계수는 하사분면이 0.905로 가장 높았고, 평균(0.897), 상사분면(0.811)에서 높았으며, 이측사분면(0.728), 비측사분면(0.678)에서는 조금 약했다. 급내상관계수는 평균 망막신경섬유층 두께가 가장 높았고, 하사분면, 상사분면, 이측사분면, 비측사분면 망막신경섬유층 두께 순이었다.

Stratus OCT와 RTVue OCT의 일치성을 평가한 이전의 연구에서 평균망막신경섬유층 두께가 사분면 망막신경섬유층 두께보다 원형 스캔의 중심이탈이 적기 때문에 평균 망막신경섬유층 두께의 일치성이 높고, 중심이탈로 사분면 측정치들이 평균 망막신경섬유층보다 큰 오차를 유발한다고 하였다.[7,10,22] 본 연구에서 OCT의 정상치 자료와 환자의 검사치를 소프트웨어가 비교하여 5% 미만으로 분류된 경우를 비정상으로 간주하였고, Cohen's kappa coefficient로 두 기기의 일치성을 알아본 결과 일치성은 하사분면이 0.870로 매우 강함, 상사분면은 0.756으로 강함, 이측사분면은 0.486으로 보통, 비측사분면에서는 0.354로 약함을 보였다. 3D-OCT에는 평균 망막신경섬유층 두께의 정상, 비정상 분류가 없었으므로 분석하지 못하였다.

결론적으로 두 영상기기 간에 상관관계와 일치성은 높았으나 상대적으로 두꺼운 망막신경섬유층 두께에서는 Stratus-OCT가 3D-OCT보다 두껍게 측정되었고, 얇은 두께에서는 3D-OCT가 Stratus-OCT보다 두껍게 측정되었다. 그러므로 두 기기의 측정치를 비교할 때에 망막신경섬유층 두께에 따라 차이가 있음을 고려하여야 한다. 또한 두 기기간의 측정치를 녹내장 진단 또는 경과관찰에서 바꾸어 사용할 수는 없다고 본다.

참고문헌

1) Blumenthal EZ, BS Williams JM, Weinreb RN, et al. Reproducibility of nerve fiber layer thickness measurements by use of optical coherence tomography. Ophthalmology 2000;107:2278-82.
2) Hood DC, Raza AS, Kay KY, et al. A comparison of retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness obtained with frequency and time domain optical coherence tomography (OCT). Opt Express 2009;17:3997-4003.
3) Inoue R, Hangai M, Kotera Y, et al. Three-dimensional high-speed optical coherence tomography imaging of lamina cribrosa in glaucoma. Ophthalmology 2009;116:214-22.
4) Kotera Y, Hangai M, Hirose F, et al. Three-dimensional imaging of macular inner structures in glaucoma by using spectral-domain optical coherence tomography. Invest Ophthalmol Vis Sci 2011;52:1412-21.
5) Menke MN, Knecht P, Sturm V, et al. Reproducibility of nerve fiber layer thickness measurements using 3D fourier-domain OCT. Invest Ophthalmol Vis Sci 2008;49:5386-91.
6) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977;33:159-74.
7) Vizzeri G, Weinreb RN, Gonzalez-Garcia AO, et al. Agreement between spectral domain and time-domain OCT for measuring RNFL thickness. Br J Ophthalmol 2009;93:775-81.
8) 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.
9) Knight OJ, Chang RT, Feuer WJ, Budenz DL. Comparison of retinal nerve fiber layer measurements using time domain and spectral

domain optical coherent tomography. Ophthalmology 2009;116: 1271-7.
10) 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.
11) Gonzalez-Garcıa AO, Vizzeri G, Bowd C, et al. Reproducibility of RTVue retinal nerve fiber layer thickness and optic disc measurements and agreement with Stratus optical coherence tomography measurements. Am J Ophthalmology 2009;147:1067-74.
12) Kim BK, Lee DW, Ahn M, Cho NC. Comparison of time domain OCT and spectrum domain OCT for retinal nerve fiber layer assessment. J Korean Ophthalmol Soc 2009;50:1539-47.
13) Leung CKS, Yung WH, Ng AC, et al. Evaluation of scanning resolution on retinal nerve fiber layer measurement using optical coherence tomography in normal and glaucomatous eyes. J Glaucoma 2004;13:479-85.
14) Budenz DL, Chang RT, Huang X, et al. Reproducibility of retinal nerve fiber thickness measurements using the Stratus OCT in normal and glaucomatous eyes. Invest Opthalmol Vis Sci 2005;46: 2440-3.
15) Legarreta JE, Gregori G, Punjabi OS, et al. Macular thickness measurements in normal eyes using spectral domain optical coherence tomography. Ophthalmic Surg Lasers Imaging 2008;39:543-9.
16) Song YM, Uhm KB. Discrimination between normal and early stage of glaucomatous eyes using the Stratus optical coherence tomography. J Korean Ophthalmol Soc 2007;48:1675-85.
17) Ghadiali Q, Hood DC, Lee C, et al. An analysis of normal variations in retinal nerve fiber layer thickness profiles measured with optical coherence tomography. J Glaucoma 2008;17:333-40.
18) Hood DC, Fortune B, Arthur SN, et al. Blood vessel contributions to retinal nerve fiber layer thickness profiles measured with optical coherence tomography. J Glaucoma 2008;17:519-28.
19) Budenz DL, Fredette MJ, Feuer WJ, Anderson DR. Reproducibility of peripapillary retinal nerve fiber thickness measurements with Stratus OCT in glaucomatous eyes. Ophthalmology 2008;115: 661-6.
20) Schuman JS, Pedut-Kloizman T, Hertzmark E, et al. Reproducibility of nerve fiber layer thickness measurements using optical coherence tomography. Ophthalmology 1996;103:1889-98.
21) 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.
22) Vizzeri G, Bowd C, Medeiros FA, et al. Effect of improper scan alignment on retinal nerve fiber layer thickness measurements using Stratus optical coherence tomograph. J Glaucoma 2008;17: 341-9.

=ABSTRACT=

Comparison of Retinal Nerve Fiber Layer Thickness Measured by Spectral-Domain and Time-Domain Optical Coherence Tomography

Juhyang Lee, MD, In Seok Song, MD, Yu-Jeong Kim, MD, Yong Jae Cha, MD, Ki Bang Uhm, MD, PhD

Department of Ophthalmology, Hanyang University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To compare retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness measured by time domain (Stratus) and spectral domain (3D) optical coherence tomography (OCT).

Methods: Sixty-nine normal subjects and 92 glaucoma patients were included in the present study. Peripapillary RNFL thickness was measured with Stratus fast RNFL scan and 3D optic disc cube scan on the same day. The relationship between RNFL thickness measurements of the two OCTs were evaluated using a Pearson's correlation analysis. A Bland-Altman plot was used for the comparison of Stratus-OCT and 3D-OCT.

Results: In all subjects, average, superior, and inferior quadrant RNFL thicknesses measured by Stratus-OCT were thicker than those measured by 3D-OCT. In contrast, temporal and nasal quadrant RNFL thicknesses measured by 3D-OCT were thicker than those measured by Stratus-OCT. Although there were absolute value differences in RNFL thicknesses, high correlation was observed between Stratus-OCT and 3D-OCT (average: r = 0.897, temporal quadrant: r = 0.728, superior quadrant: r = 0.811, nasal quadrant: r = 0.678, and inferior quadrant: r = 0.905). Bland-Altman plots showed that Stratus-OCT values were greater than 3D-OCT values with relatively high RNFL thickness and the opposite with low RNFL thickness.

Conclusions: For thicker RNFL, Stratus-OCT measurements tend to be greater than 3D-OCT, while for thinner RNFL, 3D-OCT measurements tend to be greater than Stratus-OCT. This difference must be taken into account if comparing measurements made with a Stratus-OCT to the measurements of a 3D-OCT.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(1):103-110

Key Words: Glaucoma, Retinal nerve fiber layer, Spectral domain optical coherence tomography

---

Address reprint requests to **Ki Bang Uhm, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Hanyang University Hospital
#222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-792, Korea
Tel: 82-2-2290-8570, Fax: 82-2-2291-8517, E-mail: KBUhm@hanyang.ac.kr