

정상안과 황반질환 안의 푸리에 도메인과 시간 도메인 빛간섭단층촬영에 의한 황반두께 비교

고병우¹ · 신용운¹ · 이정민² · 송유미¹ · 이병로¹

한양대학교 의과대학 안과학교실¹, 광명성애병원 안과²

목적: 정상안에서 Fourier domain OCT (FD OCT)를 이용하여 황반두께 및 부피를 측정하여 Stratus OCT와 비교하였으며 황반질환안과 차이가 있는지 알아보고자한다.

대상과 방법: 23명 35안의 정상안과 24명 26안의 황반질환안 환자를 같은 시간대에 FD OCT와 Stratus OCT를 이용하여 황반두께와 총 황반부피를 구하여 서로 비교하였다.

결과: 전체 대상안의 중심와 망막두께는 FD OCT에서 $251.49 \pm 79.45 \mu\text{m}$, Stratus OCT에서 $210.26 \pm 60.57 \mu\text{m}$ 이었으며, 총황반부피는 각각 $7.72 \pm 1.06 \text{ mm}^3$, $7.04 \pm 0.96 \text{ mm}^3$ 이었다. 9개의 ETDRS subfield 모든 영역에서 통계적으로 유의하게 FD OCT에서 Stratus OCT보다 더 두껍게 나타났다. 정상안 군과 황반질환안 군으로 나누어 비교했을 때에도 FD OCT가 통계적으로 유의하게 두껍게 나타났다.

결론: 정상안 군과 황반질환안 군 모두에서 망막두께 측정값이 FD OCT가 Stratus OCT보다 더 두꺼웠고 황반부피가 높았다. 이는 FD OCT는 망막색소상피 상부를 기준으로 시세포 외분절을 포함한 망막두께를 측정하기 때문이다. 따라서 FD OCT결과를 해석하거나 Stratus OCT 결과와 비교할 때는 이 점을 고려해야 한다.

〈대한안과학회지 2009;50(11):1661-1668〉

황반부의 변화를 객관적, 정량적으로 측정하는 것은 여러 망막질환의 진단, 시력예후, 경과관찰, 주요 임상연구에서 치료 효과 평가 등에 있어서 매우 중요하다. 황반두께를 측정하는 방법으로 망막두께분석기, 자동 시신경 분석기, 빛간섭단층 촬영기(Optical coherence tomography, OCT) 등이 있으며, 현재는 time domain OCT (TD OCT)인 Stratus OCT (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA)가 가장 널리 사용되는 일종의 기준장비이다.¹⁻⁴

하지만 Stratus OCT는 황반두께 측정시 크게 세 가지 한계 점이 있다. 첫째, Stratus OCT는 10 μm 의 축 방향 해상도(axial resolution)로 1초당 400개의 scan을 하여 상대적으로 느린 스캔 속도로 민감도가 낮아, 피검자가 협조가 덜 되거나, 주시를 못하는 경우 등에서 실제 황반 부위가 아닌 다른 망막 부위를 스캔하는 경우도 있다. 두 번째는 망막두께의 측정 프로토콜이 6개 방사선 선형 스캔, 즉 황반 전체 영역의 약 5%에 해당하는 부위를 스캔하고,⁵ 나머지 스캔 사이의 영역 즉 황반의 95% 영역을 보간법(interpolation)으로 예측한다는

점이다(Fig. 1A). 즉 각각의 선형 스캔 사이의 영역은 실제로 측정하는 것이 아니므로 망막두께의 측정시 정확성이 떨어질 수 밖에 없다. 세 번째는 Stratus OCT의 내장된 자동 망막두께 측정 알고리즘은 망막 외측경계의 기준선(reference line)을 시세포의 내분절과 외분절 경계로 하기 때문에 망막두께 측정에 있어서 시세포의 외분절과 망막색소상피층을 포함시키지 않는다는 점이다.

최근에는 전세계적으로 Stratus OCT보다 해상도가 더 높고 스캔 속도가 훨씬 빠른 Fourier domain OCT (FD OCT)가 사용되기 시작하였다. 측정 원리는 다이오드 빔을 안구 내에 투과하여 조직 내에서 다시 반사되는 빛의 시간 차이를 광학 간섭계를 사용하여 단층영상으로 나타내는 것⁶으로 Stratus OCT와 비슷하지만 스캔시 참조거울이 움직일 필요가 없어 촬영속도가 빠르고, 축 방향 해상도는 5~6 μm 정도이며, 초당 20,000~40,000개의 A-scan을 시행한다. 즉 기존 OCT에 비해 더 높은 해상도와 훨씬 빠른 스캔 속도를 통해 대규모의 측정데이터를 얻을 수 있어, 높은 민감도를 나타내며 삼차원 영상을 보여줄 수 있다.⁷ 특히 훨씬 빠른 스캔속도와 높은 해상력은 각각의 망막층 구조를 보다 정확히 설정할 수 있게 되었는데 특히 시세포의 내분절과 외분절의 경계, 시세포의 외분절과 망막상피세포의 경계, 망막상피세포층의 구분이 가능하게 되었고, 이에 따라 망막두께의 측정에 있어서 두 OCT 간의 차이가 있을 것으로 예상할 수 있다.

국내에서는 여러 가지 이유로 FD OCT는 현재 도입단계이며,

■ 접 수 일: 2009년 2월 10일 ■ 심사통과일: 2009년 7월 28일

■ 책임저자: 이 병 로

서울시 성동구 행당동 17
한양대학교병원 안과
Tel: 02-2290-8570, Fax: 02-2291-8517
E-mail: brlee@hanyang.ac.kr

* 본 논문의 요지는 2008년 대한안과학회 제100회 추계학술대회에서 구연으로 발표되었음.

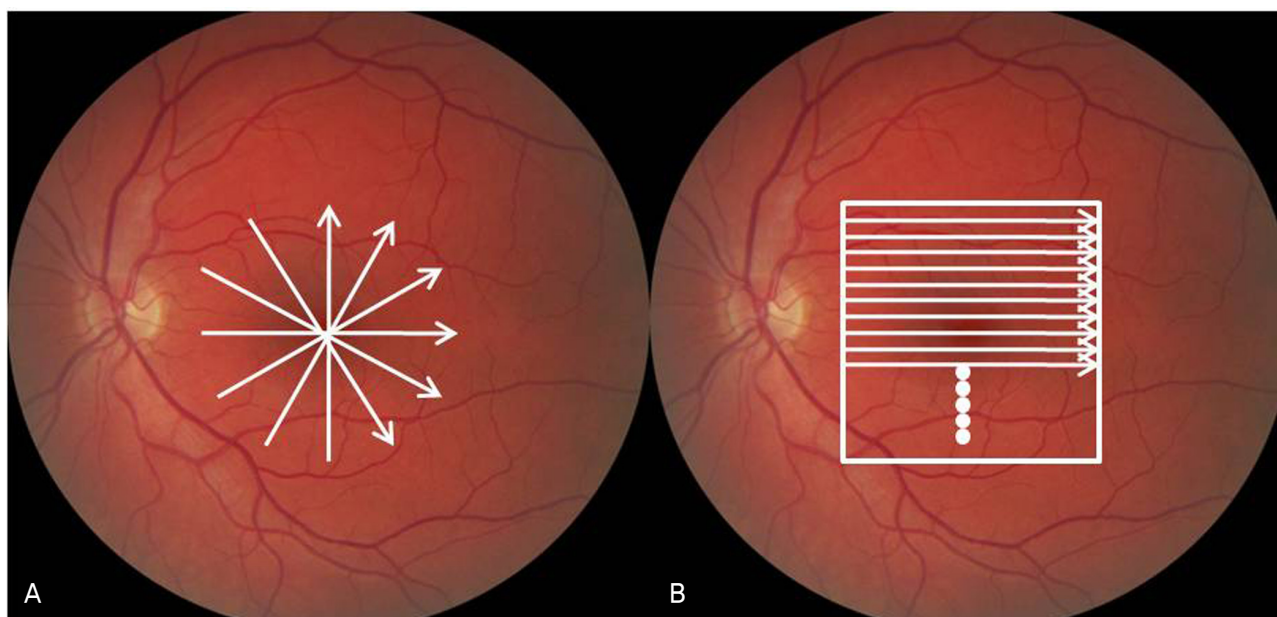


Figure 1. Six radial scans of Stratus OCT (A) and macular cube scans of Fourier domain OCT (B).

본 연구는 FD OCT를 이용하여 정상인과 여러 황반질환 안의 황반두께 및 황반부피를 측정하고, 이를 Stratus OCT의 측정값과 비교, 분석하였다.

대상과 방법

2008년 7월부터 9월까지 본원을 내원한 환자 중 47명 환자의 61안을 대상으로 하였다. 이 중 정상안은 23명 35안이었으며, 황반질환이 있는 대상은 24명 26안이였다. 정상안의 기준은 전신 질환 및 안과적 질환이 없는 경우로 정의하였고, 굴절교정수술을 포함한 안과 수술의 기왕력이 있거나, 안압이 21 mmHg 이상으로 높은 경우, 최대교정시력이 20/32 이하인 경우는 연구에서 제외하였다. 황반질환이 있는 눈은 세극등

현미경을 통한 안저검사 및 형광안저촬영술을 시행하여 당뇨 황반부종 또는 삼출성 연령관련황반변성으로 진단된 경우를 대상으로 하였다. 각각의 대상안을 동일한 날, 같은 시간대에 숙련된 한 명의 검사자가 FD OCT와 TD OCT로 검사를 시행하였다.

TD OCT는 Stratus OCT (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA)를 사용하였는데, 스캔시 신호 세기(signal strength)가 5 이하인 경우는 연구에서 제외하였다. 황반두께의 정량적 측정은 중심소와를 지나는 6 mm 길이 6개의 선형 스캔이 30°간격으로 방사상 주사를 하는 fast macular thickness map protocol을 이용하였는데 각각의 선형 스캔은 128개의 transverse axial scan으로 구성되어 있다. 황반두께는 ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study) subfield 별로 측정하였으

Table 1. Comparison of macular thickness measurement in all patients between Fourier domain OCT (FD OCT) and Stratus OCT

ETDRS* area	FD OCT (μm)	Stratus OCT (μm)	Difference	p-value	r [†]
Fovea (500 μm radius)	251.49 \pm 79.45	210.26 \pm 60.57	41.23 \pm 53.87	<0.001	0.74
Inner ring (1.5 mm radius)					
Superior	300.54 \pm 46.58	273.23 \pm 40.79	27.31 \pm 30.23	<0.001	0.77
Temporal	292.59 \pm 50.41	261.82 \pm 50.84	30.77 \pm 33.11	<0.001	0.79
Inferior	295.28 \pm 44.58	271.56 \pm 41.35	23.72 \pm 39.60	<0.001	0.58
Nasal	309.08 \pm 55.43	272.03 \pm 42.60	37.05 \pm 43.32	<0.001	0.64
Outer ring (3.0 mm radius)					
Superior	264.51 \pm 39.94	246.66 \pm 36.01	17.85 \pm 23.08	<0.001	0.82
Temporal	253.11 \pm 47.87	233.56 \pm 40.31	19.56 \pm 35.22	<0.001	0.69
Inferior	256.51 \pm 35.78	237.05 \pm 35.25	19.46 \pm 33.37	<0.001	0.56
Nasal	286.25 \pm 42.65	258.64 \pm 39.89	27.61 \pm 25.79	<0.001	0.81
Total macular volume (mm^3)	7.72 \pm 1.06	7.44 \pm 1.31	0.67 \pm 0.63	<0.001	0.81

OCT=optical coherence tomography; * Early Treatment Diabetic Retinopathy Study; [†] Pearson correlation coefficient.

며, 중심원을 기준으로 중심 원(central circle), 안쪽 원(inner ring), 바깥쪽 원(outer ring), 즉 1 mm, 3 mm, 6 mm 직경의 3개의 동심 원과 안쪽 원과 바깥쪽 원 구역을 상측, 비측, 하측, 이측의 4분역으로 나누어 총 9개의 구역으로 황반부두께 평균 치와 총 황반부피(total macular volume)를 구하였다.

FD OCT는 3D OCT-1000 (Topcon corp., Tokyo, Japan)

를 사용하였다. 이는 축 방향 해상도는 6 μm 이며, 초당 40,000 A-scan의 속도로 영상을 얻는다. 황반두께 및 부피 측정을 위해서 macular cube scan protocol을 사용하였으며, 이는 가로 6 mm, 세로 6 mm의 황반 부위를 512 \times 128 (수직 \times 수평) 축 방향 스캔하는 프로토콜이다(Fig. 1B). 평균 황반두께를 Stratus OCT와 동일한 ETDRS 9 subfield의 황반부두께 평

Table 2. Comparison of macular thickness measurement in 35 normal eyes and 26 diseased eyes between Fourier domain OCT (FD OCT) and Stratus OCT

ETDRS* area	FD OCT (μm)	Stratus OCT (μm)	Difference	p-value	r [†]
Normal eyes					
Fovea (500 μm radius)	223.00 \pm 27.49	186.86 \pm 21.47	36.14 \pm 22.08	<0.001	0.62
Inner ring (1.5 mm radius)					
Superior	288.31 \pm 17.65	266.49 \pm 24.54	21.83 \pm 8.74	<0.001	0.89
Temporal	275.31 \pm 18.80	252.40 \pm 23.22	22.91 \pm 18.41	<0.001	0.63
Inferior	284.80 \pm 20.24	265.49 \pm 20.03	19.31 \pm 6.75	<0.001	0.94
Nasal	292.66 \pm 20.92	262.29 \pm 24.54	30.37 \pm 17.88	<0.001	0.70
Outer ring (3.0 mm radius)					
Superior	251.31 \pm 16.25	236.60 \pm 15.60	14.71 \pm 9.11	<0.001	0.84
Temporal	234.51 \pm 13.88	222.37 \pm 23.63	12.14 \pm 22.16	<0.001	0.40
Inferior	243.03 \pm 15.61	226.06 \pm 16.10	16.97 \pm 13.17	<0.001	0.66
Nasal	271.11 \pm 15.83	246.86 \pm 21.17	24.26 \pm 18.70	<0.001	0.52
Total macular volume (mm^3)	7.26 \pm 0.35	6.75 \pm 0.40	0.50 \pm 0.20	<0.001	0.87
Diseased eyes					
Fovea (500 μm radius)	289.85 \pm 107.03	241.77 \pm 79.86	48.08 \pm 78.84	<0.001	0.68
Inner ring (1.5 mm radius)					
Superior	317.00 \pm 65.52	282.31 \pm 57.74	34.69 \pm 44.62	<0.001	0.75
Temporal	315.85 \pm 68.11	274.50 \pm 71.97	41.35 \pm 44.35	<0.001	0.80
Inferior	309.38 \pm 62.06	279.73 \pm 58.63	29.65 \pm 60.31	0.004	0.50
Nasal	331.19 \pm 76.76	285.15 \pm 56.78	46.04 \pm 62.63	<0.001	0.60
Outer ring (3.0 mm radius)					
Superior	282.27 \pm 53.82	260.19 \pm 49.48	22.08 \pm 33.66	0.003	0.79
Temporal	278.15 \pm 64.04	248.62 \pm 52.24	29.54 \pm 46.15	0.001	0.70
Inferior	274.65 \pm 46.31	251.85 \pm 47.26	22.81 \pm 49.15	0.003	0.45
Nasal	306.62 \pm 57.20	274.50 \pm 52.47	32.12 \pm 32.92	<0.001	0.82
Total macular volume (mm^3)	8.32 \pm 1.37	7.44 \pm 1.31	0.87 \pm 0.90	<0.001	0.77

OCT=optical coherence tomography; * Early Treatment Diabetic Retinopathy Study; [†] Pearson correlation coefficient.

Table 3. Comparison of macular thickness differences between Fourier domain OCT and Stratus OCT in normal eyes and diseased eyes

ETDRS* area	Normal eyes	Diseased Eye	p-value
Fovea (500 μm radius)	36.14 \pm 22.08	48.08 \pm 78.84	0.46
Inner ring (1.5 mm radius)			
Superior	21.83 \pm 8.74	34.69 \pm 44.62	0.16
Temporal	22.91 \pm 18.41	41.35 \pm 44.35	0.06
Inferior	19.31 \pm 6.75	29.65 \pm 60.31	0.39
Nasal	30.37 \pm 17.88	46.04 \pm 62.63	0.23
Outer ring (3.0 mm radius)			
Superior	14.71 \pm 9.11	22.08 \pm 33.66	0.29
Temporal	12.14 \pm 22.16	29.54 \pm 46.15	0.09
Inferior	16.97 \pm 13.17	22.81 \pm 49.15	0.56
Nasal	24.26 \pm 18.70	30.12 \pm 32.92	0.28
Total macular volume (mm^3)	0.50 \pm 0.20	0.44 \pm 1.31	0.06

* Early Treatment Diabetic Retinopathy Study.

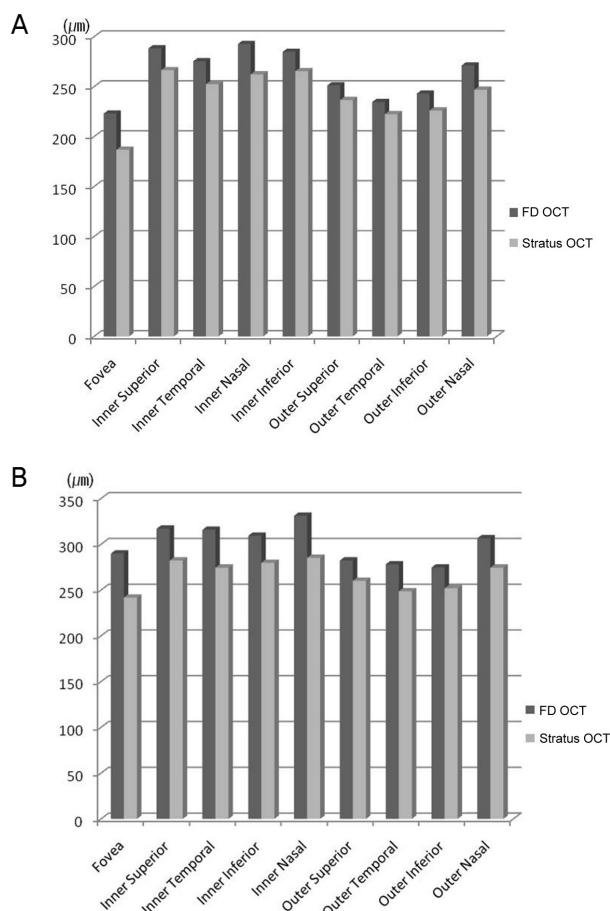


Figure 2. Comparison of macular thickness measurements in 35 normal eyes (A) and 19 diseased eyes (B) between Fourier domain OCT (FD OCT) and Stratus OCT.

균치와 총 황반부피(total macular volume)을 구했다.

SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)를 이용하여 두 가지 장비의 황반두께 및 총 황반부피 측정치를 통계적으로 비교,

분석하였다. 두 가지 장비의 각 측정치 차이값은 쌍표본 t -검정(Paired samples t -test)로 분석하여 p 값이 0.05이하일 때만 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다. 또한 Pearson's correlation coefficient를 구하여 두 가지 장비의 각 측정치의 상관관계를 알아보았다.

결 과

전체 47명의 61안 중에서 정상안은 35안, 당뇨황반부종은 15안, 삼출성 연령관련황반변성이 11안이었으며, 남성은 20명, 여성은 27명이었으며, 연령은 40세부터 81세까지로 평균연령은 52.5 ± 11.77 세였다.

연구에 포함된 총 61안에서 중심와 망막두께는 FD OCT에서 $251.49 \pm 79.45 \mu\text{m}$, Stratus OCT에서 $210.26 \pm 60.57 \mu\text{m}$ 이었으며, 총 황반부피는 각각 $7.72 \pm 1.06 \text{ mm}^3$, $7.04 \pm 0.96 \text{ mm}^3$ 로 측정되었다. 모든 대상안의 ETDRS 9개 모든 영역에서 통계적으로 유의하게 FD OCT에서의 황반두께 측정값이 Stratus OCT보다 더 두껍게 나타났다(Table 1).

대상안을 정상과 황반질환으로 나누어 분석한 경우에도 정상안의 중심와 망막두께는 FD OCT에서 $223.00 \pm 27.49 \mu\text{m}$, Stratus OCT에서 $186.86 \pm 21.47 \mu\text{m}$ 이었으며, 총 황반부피는 각각 $7.26 \pm 0.35 \text{ mm}^3$, $6.75 \pm 0.40 \text{ mm}^3$ 이었다. 황반질환 안의 중심와 망막두께는 FD OCT에서 $289.85 \pm 107.03 \mu\text{m}$, Stratus OCT에서 $241.77 \pm 79.86 \mu\text{m}$ 이었으며 총 황반부피는 각각 $8.32 \pm 1.37 \text{ mm}^3$, $7.44 \pm 1.31 \text{ mm}^3$ 이었다. 두 군 모두에서 ETDRS 9개 모든 영역에서 통계적으로 유의하게 FD OCT에서의 황반두께 측정값이 Stratus OCT보다 더 높게 나타났다(Table 2, Fig. 2).

정상안에서 ETDRS 9개 영역별 망막두께를 비교하였을 때 안쪽 원 구역에서 FD OCT는 비측이 가장 두껍고 이측이 가장

Table 4. Comparison of macular thickness differences between Fourier domain OCT and Stratus OCT for DME and wet AMD compared with normal eyes

ETDRS* area	Normal eyes	DME†	p -value	Wet AMD‡	p -value
Fovea (500 μm radius)	36.14 ± 22.08	55.33 ± 68.42	0.08	38.18 ± 93.80	0.90
Inner ring (1.5 mm radius)					
Superior	21.83 ± 8.74	31.80 ± 24.78	0.07	38.64 ± 63.94	0.07
Temporal	22.91 ± 18.41	43.33 ± 49.99	0.06	38.64 ± 37.46	0.13
Inferior	19.31 ± 6.75	26.87 ± 53.33	0.41	33.45 ± 71.30	0.07
Nasal	30.37 ± 17.88	35.73 ± 40.63	0.51	60.09 ± 84.38	0.24
Outer ring (3.0 mm radius)					
Superior	14.71 ± 9.11	19.47 ± 30.84	0.40	18.08 ± 33.66	0.56
Temporal	12.14 ± 22.16	32.60 ± 59.44	0.08	19.54 ± 46.15	0.48
Inferior	16.97 ± 13.17	25.07 ± 51.52	0.39	19.73 ± 48.02	0.76
Nasal	24.26 ± 18.70	25.87 ± 30.08	0.82	33.64 ± 36.11	0.36
Total macular volume (mm^3)	0.50 ± 0.20	0.88 ± 0.83	0.06	0.87 ± 1.04	0.06

* Early Treatment Diabetic Retinopathy Study; † Diabetic macular edema.; ‡ Age-related macular degeneration.

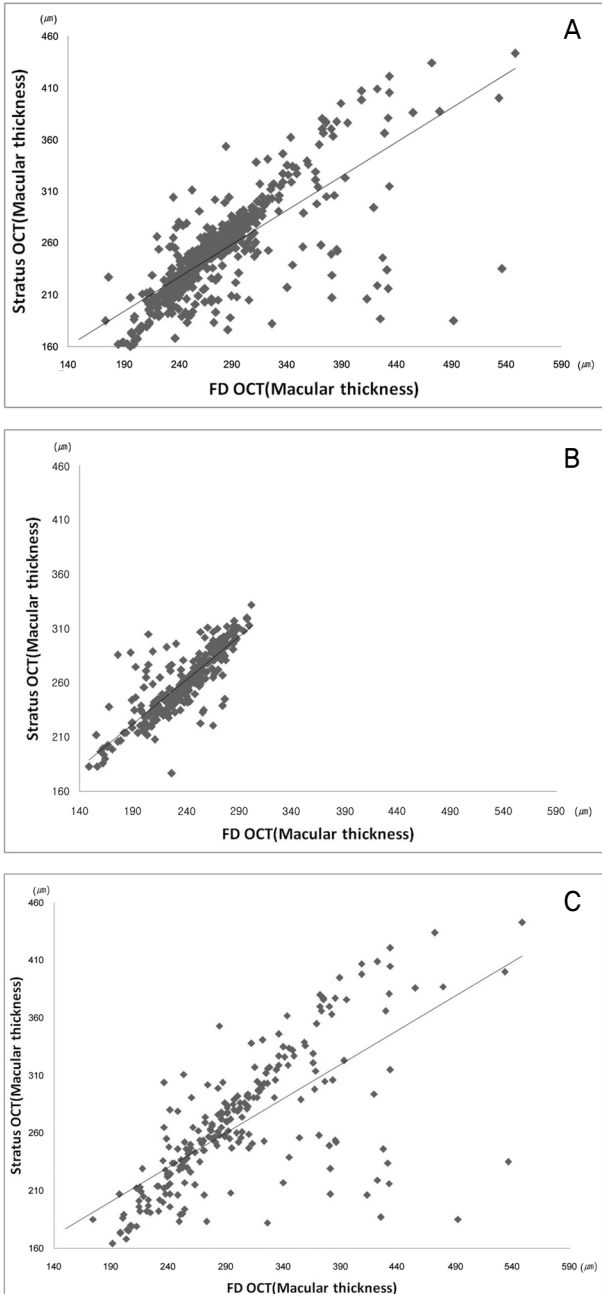


Figure 3. Fourier domain OCT (FD OCT) and Stratus OCT measurements in all patients (A), normal eyes (B), and diseased eyes (C) are graphed together.

얇았으나, Stratus OCT는 상측이 가장 두껍고 이측이 가장 얇았다. 바깥쪽 원 구역은 FD OCT는 비측이 가장 두껍고 이측이 가장 얇았으며, Stratus OCT에서도 비측이 가장 두껍고 이측이 가장 얇았다.

한편 두 가지 장비의 망막두께 측정치의 차이 값을 정상안 군과 황반질환안 군 간에 비교하였을 때 ETDRS 모든 영역에서 두 군 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 3). 또한 당뇨황반부종과 삼출성 연령관련황반변성 질환별로 두 가지

OCT의 중심와 측정치의 차이 값을 정상안과 비교했을 때, 삼출성 연령관련황반변성은 정상안과 큰 차이는 보이지 않았고($p=0.90$), 당뇨황반부종은 통계적인 유의성은 보이지 않았지만 중심와 측정치의 차이값이 정상안보다 크게 나타났다($p=0.08$) (Table 4).

그리고 총 연구 대상을 Pearson coefficient test를 이용하여 상관분석을 하였을 때, FD OCT와 Stratus OCT의 망막두께 측정값들이 ETDRS 모든 영역에서 서로 상관관계를 잘 이루는 것으로 나타났다(Table 1, Fig. 3A). 정상 안군과 황반질환 안군을 따로 살펴보았을 때에도 두 OCT의 측정값들은 서로 상관관계가 있었다(Table 2, Fig. 3B, C).

고 찰

본 연구에서와 같이 망막두께 측정에서 FD OCT의 값이 Stratus OCT의 값보다 크게 나타나는 이유는 망막외경계의 기준선이 다르기 때문이다. 황반두께 측정시 Stratus OCT의 내장된 자동 알고리즘은 내경계막으로부터 망막시세포 광수용체의 내/외분절 경계까지의 거리를 망막두께로 측정하므로 실제 망막두께를 내경계막으로부터 망막색소상피층까지의 거리로 볼 때 이보다 더 얇게 측정된다. 반면에 FD OCT에서는 Stratus OCT보다 높은 해상도로 인해서 망막시세포 광수용체의 내/외분절 경계와 망막색소상피의 구분이 가능하여 망막색소상피를 망막외경계로 설정하고 있다^{8,9}(Fig. 4). 이와 같은 이유로 FD OCT의 망막두께 측정치가 Stratus OCT의 측정치보다 크게 나타나며, Stratus OCT보다 실제 망막두께에 가깝다고 할 수 있다. 이번 연구에서 FD OCT에서 측정한 중심와 두께는 $251.49 \pm 79.45 \mu\text{m}$, Stratus OCT에서 $210.26 \pm 60.57 \mu\text{m}$ 로 $41.23 \pm 53.87 \mu\text{m}$ 의 차이를 보였는데 이와 같은 결과는 최근에 발표된 해외의 다른 연구들⁸⁻¹¹에서도 확인할 수 있다.

본 연구에서 정상안의 황반 두께의 FD OCT에서 안쪽 원과 바깥쪽 원 모두 비측 구역이 가장 두꺼웠으며 Stratus OCT는 각각 상측과 비측이 가장 두꺼운 것으로 나타났다. Leung et al¹⁰는 3D OCT와 Stratus OCT, 두 OCT 모두 안쪽 원은 상측, 바깥쪽 원은 비측이 가장 두꺼운 것으로 보고하였고, Legarreta et al⁷의 연구에서는 Cirrus OCT와 Stratus OCT에서 안쪽 원과 바깥쪽 원 모두 비측이 두꺼운 것으로 나타났다. 이와 같이 상대적으로 비측이 두껍게 나타나는 것은 해부학적으로 유두황반다발(maculopapular bundle)의 존재⁹가 한 요인이 되는 것으로 생각된다. 그리고 정상안에서 황반 영역에서의 두 OCT의 망막두께 차이를 살펴보았을 때, 중심와에서는 $36 \mu\text{m}$, 안쪽 원에서는 영역별로 $19 \mu\text{m}$ 에서 $30 \mu\text{m}$, 바깥쪽 원에서는 $12 \mu\text{m}$ 에서 $24 \mu\text{m}$ 로 나타나, 중심와에서 멀어질수록 두 OCT의 망막두께 측정치의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이와 같은

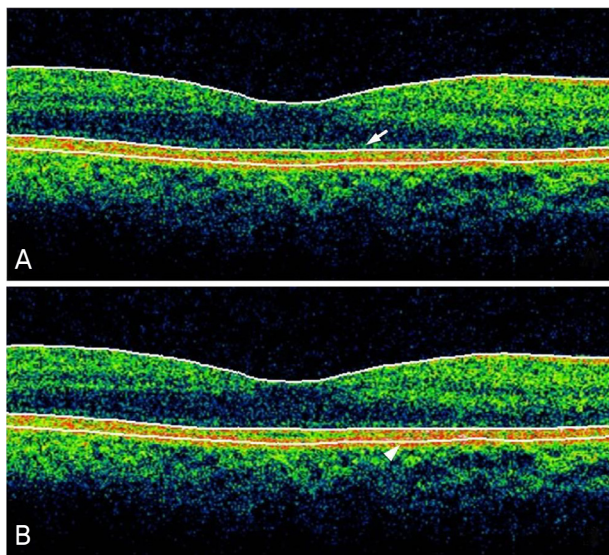


Figure 4. Outer retinal boundary in Stratus OCT (arrow) and Fourier domain OCT (arrow head). The arrow indicates the inner segment/outer segment photoreceptor junction and the arrow head indicates the inner border of the retinal pigment epithelium.

결과가 나타난 것은 FD OCT에서 Stratus OCT 측정값의 차이는 망막 시세포의 광수용체의 외분절의 두께와 상응하는데, Srinivasan et al¹²의 연구에 의하면 중심와로부터 거리가 멀어질수록 시세포의 외분절 길이가 감소하기 때문이다.

또한 정상안의 중심와 두께가 FD OCT에서 $223.00 \pm 27.49 \mu\text{m}$, Stratus OCT에서 $186.86 \pm 21.47 \mu\text{m}$ 로 두 OCT의 차이는 $36.14 \mu\text{m}$ 로 나타났는데 이는 다른 연구들과 차이를 보인다. Cirrus OCT를 이용한 Kiernan et al⁹의 연구에서는 $41.9 \mu\text{m}$ 로 나타났고, Spectralis HRA+OCT를 이용한 Han and Jaffe¹⁴는 $69.3 \mu\text{m}$ 로 보고하였다. 이러한 차이를 보이는 것은 제조회사별 FD OCT의 기종마다 망막외경계의 설정이 조금씩 차이가 존재하기 때문이다. Sayanagi et al¹³에 의하면, Topcon사의 3D OCT-1000에서는 망막외경계가 망막색소상피의 상부(top), Zeiss사의 Cirrus OCT에서는 망막색소상피의 중간 부분(middle), Spectralis HRA+OCT에서는 망막색소상피의 바닥(bottom)이다. 따라서 황반두께 측정에 있어서 3D OCT-1000을 이용했던 본 연구에서 Cirrus OCT를 사용했던 다른 연구들^{6,9}보다 FD OCT와 Stratus OCT에서의 중심와 두께 차이가 작게 나타났다.

한편 FD OCT에서 Stratus OCT 측정값을 뺀 값은 망막시세포 광수용체의 외분절의 두께를 반영하는데, 두 가지 OCT의 측정치의 차이값을 정상안과 황반질환 안에서 비교했을 때 통계적인 유의성을 관찰할 수 없었다. Han and Jaffe¹⁴의 연구에서도 FD OCT와 Stratus OCT의 중심와 측정치의 차이값을 맥락막신생혈관, 황반부종, 황반변성 등의 황반질환 안과 정상

안을 비교했을 때 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한 Table 4에서 보는바와 같이, 두 가지 OCT의 중심와 측정치의 차이 값을 당뇨황반부종과 삼출성 연령관련황반변성 질환별로 정상안과 비교했을 때 삼출성 연령관련 황반변성은 정상안과 차이가 없었지만, 당뇨황반부종은 통계적인 유의성은 보이지 않았으나 중심와 측정치의 차이값이 정상안보다 큰 양상을 보였다. 당뇨황반부종 군과 삼출성 연령관련 황반변성 군에서 이런 차이를 보이는 것은 당뇨황반부종에서는 삼출성 연령관련황반변성보다 망막내 낭포, 삼출물, 망막앞막 등이 동반되는 경우가 많아 허상(artifact)이 증가하여 망막두께 측정의 알고리즘의 오류가 발생할 가능성이 증가하기 때문으로 추정된다.

본 연구의 제한점으로는 대상 환자의 수가 적어 각 질환의 정도에 따른 차이점을 알 수 없었으며, 당뇨황반부종, 삼출성 연령관련황반변성 환자만을 대상으로 하였기 때문에, 다양한 황반질환이 포함되지 않아 FD OCT에서 망막질환의 종류별로 어떠한 차이가 있는지 알 수 없었다는 점이다. 그리고 본 연구에서는 허상 및 망막두께 측정 알고리즘의 오류에 대한 분석은 하지 않았는데, 향후 두 가지 장비의 허상 및 알고리즘 오류에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 반복성(repeatability) 혹은 재현성(reproducibility) 측정을 통해 FD OCT의 신뢰성을 알아보는 것도 중요할 것으로 보인다.

결론으로 본 연구를 통해서 FD OCT를 이용하여 정상안 군과 황반질환안 군의 황반두께를 정량적으로 측정, Stratus OCT의 측정값과 비교를 하였는데, 정상안 군과 황반질환안 군의 9개의 ETDRS subfield 모든 영역에서 FD OCT의 황반두께 측정값과 총 황반부피가 Stratus OCT보다 높게 나타났다. 그리고 두 OCT의 측정치는 서로 양의 상관관계를 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서 FD OCT의 결과를 분석하거나 Stratus OCT의 결과와 비교할 때는 이 점들을 고려해야 한다.

참고문헌

- 1) Jaffe GJ, Caprioli J. Optical coherence tomography to detect and manage retinal disease and glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2004;137: 156-69.
- 2) Otani T, Kishi S, Maruyama Y. Patterns of diabetic macular edema with optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 1999;127: 688-93.
- 3) Haouchine B, Massin P, Tadayoni R, et al. Diagnosis of macular pseudoholes and lamellar macular holes by optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2004;138:732-9.
- 4) Sanchez-Tocino H, Valdez-Vidal A, Maldonado M, et al. Retinal thickness study with optical coherence tomography in patients with diabetes. *Invest Ophthalmol Visc Sci* 2002;43:1588-94.
- 5) Dacosta S, Rajendran B, Janakiraman P. Spectral domain optical coherence tomography a practical guide, 1st ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers, 2008;3-7.

- 6) Zeimer RC, Shahidi M, Mori M, et al. A new method for rapid mapping of the retinal thickness at the posterior pole. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1996;37:1994-2001.
- 7) 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:S43-9.
- 8) Forooghian F, Cukras C, Meyerle CB, et al. Evaluation of Time Domain and Spectral Domain Optical Coherence Tomography in the Measurement of Diabetic Macular Edema. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:4290-6.
- 9) Kiernan D, Hariprasad S, Chin E, et al. Prospective Comparison of Cirrus and Stratus Optical Coherence Tomography for Quantifying Retinal Thickness. *Am J Ophthalmol* 2009;147:267-75.
- 10) Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, et al. Comparison of Macular Thickness Measurements between Time Domain and Spectral Domain Optical Coherence Tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:4893-7.
- 11) Forte R, Cennamo GL, Finelli ML, de Crecchio G. Comparison of time domain Stratus OCT and spectral domain SLO/OCT for assessment of macular thickness and volume. *Eye* 2008 Dec 12. [Epub ahead of print]
- 12) Srinivasan VJ, Monson BK, Wojtkowski M, et al. Characterization of outer retinal morphology with high-speed, ultra-high resolution optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:1571-9.
- 13) Sayanagi K, Sharma S, Yamamoto T, Kaiser PK. Comparison of Spectral-Domain versus Time-Domain Optical Coherence Tomography in Management of Age-Related Macular Degeneration with Ranibizumab. *Ophthalmology* 2009;116:947-55.
- 14) Han IC, Jaffe GJ. Comparison of Spectral- and Time-Domain Optical Coherence Tomography for Retinal Thickness Measurements in Healthy and Diseased Eyes. *Am J Ophthalmol* 2009;147:847-58.

=ABSTRACT=

Comparison of Macular Thickness Measurements Between Fourier-Domain and Time-Domain Optical Coherence Tomography in Normal Eyes and Eyes With Macular Diseases

Byoung Woo Ko, MD¹, Yong Woon Shin, MD¹, Jeong Min Lee, MD², Yumi Song, MD¹, Byung Ro Lee, MD¹

Department of Ophthalmology, College of Medicine, Hanyang University¹, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, GwangMyeong Sungae Hospital², Gwangmyeong, Korea

Purpose: To define and measure macular thickness and volume using Fourier domain OCT (FD OCT) and compare the values with Stratus OCT in normal eyes and eyes with macular disease.

Methods: On the same day, macular thicknesses of the ETDRS 9 subfield and total macular volumes were measured in 35 eyes of 23 normal subjects and 19 diseased eyes of 24 patients with FD OCT and Stratus OCT. The macular cube scan protocol for FD OCT and the fast macular thickness map protocol for Stratus OCT were used to measure macular thicknesses.

Results: Foveal thickness of the central subfield in FD OCT ($251.49 \pm 79.45 \mu\text{m}$) was thicker than the value of Stratus OCT ($210.26 \pm 60.57 \mu\text{m}$) ($p < 0.001$) in all eyes. Total macular volume was $7.72 \pm 1.06 \text{ mm}^3$ and $7.04 \pm 0.96 \text{ mm}^3$ for FD OCT and Stratus OCT, respectively ($p < 0.001$). Retina thickness of the ETDRS 9 subfields in FD OCT was thicker than the value obtained using Stratus OCT. In addition, foveal thickness differences were statistically significant in both the normal and diseased eye groups.

Conclusions: Macular thickness and total macular volume as measured by the FD OCT were larger than the values obtained using the Stratus OCT in both the normal and the diseased eye groups. The measuring algorithm of FD OCT defines the top of RPE as the outer retinal boundary, but Stratus OCT defines the outer retinal boundary as the IS/OS junction of the photoreceptor. Therefore, macular thicknesses of FD OCT are thicker than those of Stratus OCT. This difference should be considered when comparing the results of FD OCT with those of Stratus OCT.

J Korean Ophthalmol Soc 2009;50(11):1661-1668

Key Words: Fourier domain OCT, Macular thickness, Macular volume, Stratus OCT

Address reprint requests to Byung Ro Lee, MD

Department of Ophthalmology, College of Medicine, Hanyang University Hospital

#17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

Tel: 82-2-2290-8570, Fax: 82-2-2291-8517, E-mail: brlee@hanyang.ac.kr