

스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기를 이용한 정상인의 황반부 측정치와 측정의 반복성 및 재현성

강나희 · 김현진 · 이정희

이화여자대학교 의학전문대학원 목동병원 안과학교실

목적: 정상인에서 Cirrus HD OCT (optical coherence tomography)를 이용하여 평균 황반두께 및 황반부 용적을 측정하고 그 반복성과 재현성을 알아보았다.

대상과 방법: 25명 총 50안을 대상으로 Cirrus HD OCT의 macular cube 512×128 combination scan을 한 명의 검사자가 3회 연속으로 시행한 후, 다른 2명의 검사자가 각각 1회씩 추가 시행하였다. 연령, 성별 및 굴절이상과 망막두께와의 관련성을 알아보고, 측정치간의 급내상관계수(ICC, Intraclass correlation coefficient)를 분석하여 반복성과 재현성을 평가하였다.

결과: 단일 검사자에 의한 평균 황반두께 및 황반부 부피 측정치간의 ICC는 0.99, 0.96이고, 세 검사자에 의한 측정치간의 ICC는 0.98, 0.96이었으며, 9개의 구역별 황반두께 측정치의 ICC도 모두 0.93이상이었다. 연령, 성별 및 굴절이상은 황반두께에 영향을 주었지만 반복성과 재현성에 연령, 굴절이상이 미치는 영향은 없었다.

결론: Cirrus HD OCT는 전체 및 구역별 황반두께와 황반부 용적 측정 시에 반복성과 재현성이 모두 뛰어난 결과를 보여 여러 황반부 질환의 진단 및 경과 관찰에 유용하게 쓰일 수 있다.

〈대한안과학회지 2011;52(10):1182-1188〉

빛간섭단층촬영(optical coherence tomography, OCT)은 망막의 조직학적 분석과 유사하게 생체 내 조직의 단면을 영상으로 제공해주는 기기로서 이를 이용하여 망막의 두께를 평가하는 것은 망막의 구조를 분석하여 치료 방침을 세우는 데 유용하며, 새로운 약물치료 개발연구에 있어서도 중요하다.¹⁻⁵ OCT는 지난 이십여 년 동안 급속도로 발전하여서, 기존에는 초당 400회의 스캔을 하며 약 8-10 μm 의 축 해상도(axial resolution)를 가진 시간영역 빛간섭단층촬영기(time-domain OCT, TD-OCT)가 널리 이용되었으나 최근에는 푸리에 변환(Fourier transform)을 통해 영상을 얻어 속도가 더 빠르고 해상도가 더 좋은 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영기(spectral domain OCT, SD-OCT)가 개발되어 보편화되고 있다.^{4,6} 현재 임상적으로 사용되고 있는 SD-OCT는 Topcon사의 OCT-1000, Canon사의 SPOCT, Spectralis HRA+OCT (Vista, Heidelberg,

Germany), Spectral OCT/SLO (Ophthalmic Technologies Inc, Toronto, Ontario, Canada), RTVue-100(Optovue Inc, Fremont, California, USA), 3D SD-OCT (Bioptigen, Research Triangle Park, North Carolina, USA), Cirrus OCT (Carl zeiss Meditec Inc, Dublin, CA) 등 총 일곱 가지가 있다.² OCT가 점차 해상도가 뛰어난 영상을 제공하면서 더 정확한 진단이 가능하게 되었지만 검사자간 측정치의 차이는 무시할 수 없다.³ 따라서 이미 TD-OCT와 SD-OCT를 이용하여 반복성에 관한 여러 연구가 이루어졌으며, TD-OCT인 Stratus OCT (Carl zeiss Meditec Inc, Dublin, CA)보다 SD-OCT에서 결과치 사이 일치도가 더 높고, 두 가지 OCT사이 측정치 간의 일치도 및 관련성은 떨어진다는 것이 입증되었다.^{1,6-11} 그러나 제조회사별 SD-OCT 각각의 망막 질환 평가의 기준이 되는 정상 황반부 기준치에 대한 연구 및 반복성과 재현성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 이번 연구에서는 정상 한국인에서 SD-OCT 중 Cirrus HD OCT (version 3.0.0.64)를 이용하여 구역별 및 평균 황반두께와 황반부 용적을 측정하고, 연령, 성별 및 굴절이상과의 관계를 분석하며, 측정자 내 반복성(repeatability) 및 측정자 간 재현성(reproducibility)을 통해 SD-OCT의 황반부 측정의 정확성을 알아보았다.

■ 접수 일: 2010년 7월 22일 ■ 심사통과일: 2011년 1월 10일
■ 게재허가일: 2011년 7월 30일

■ 책임저자: 이 정 희

서울시 양천구 목동 911-1
이화여자대학교 목동병원 안과
Tel: 02-2650-5154, Fax: 02-2654-4334
E-mail: leejhoph@mm.ewha.ac.kr

* 이 논문의 요지는 2009년 대한안과학회 제102회 학술대회에서 포스터로 발표되었음.

대상과 방법

본원 건강검진센터를 내원한 당뇨 및 고혈압과 같은 전신질환이 없고, 안과적 질환이나 굴절교정 수술을 포함한 안과 수술의 기왕력이 없는 건강한 성인 총 25명, 50안을 대상으로 하였다. 각각의 대상안에 대하여 최대교정시력(BCVA, snellen), 비접촉성 안압계(CT-80 Non-Contact Computerized Tonometer, Topcon, Tokyo, Japan)를 이용한 안압 및 자동굴절계(ARK-510A, NIDEK, Japan)를 이용한 구면수차(spherical equivalent)를 측정하였고, 한 명의 검사자가 세극등검사로 전안부 및 후안부의 이상 유무를 검사하였다. 모든 OCT scan은 동일한 장비인 Cirrus HD OCT를 이용하여 같은 날 무산동 상태로 macular cube 512×128 combination scan으로 측정하였으며, 신호세기

(signal strength)가 5 이하인 경우는 연구에서 제외하였다(Fig. 1). Cirrus HD OCT는 5 μ m의 높은 축해상도를 가지고 초당 27,000의 axial scan 속도를 갖고 있는 SD-OCT로 512×128 macular cube, 200×200 scan과 5-line raster 방식이 있다.¹² 이 중 macular cube 512×128 combination scan은 라스터 스캔(Raster scan)방식으로 황반부 6×6 mm에 해당하는 부위를 512 A-scans를 구성하는 128개의 horizontal scan lines로 측정하는 것으로 200×200 scan 방식과 망막두께 측정치의 유의한 차이가 없어 해상도가 더 좋은 512×128 scan을 사용하였다.¹³ 한 명의 검사자가 3회 연속으로 황반두께 및 황반부 용적을 측정하고, 다른 2명의 검사자가 각각 1회씩 추가 시행하여 한 대상안에 대하여 총 3명의 검사자들이 모두 5회의 검사를 시행하였다. 황반부 용적과 평균 및 구역별 황반두께를 측정하였으며,

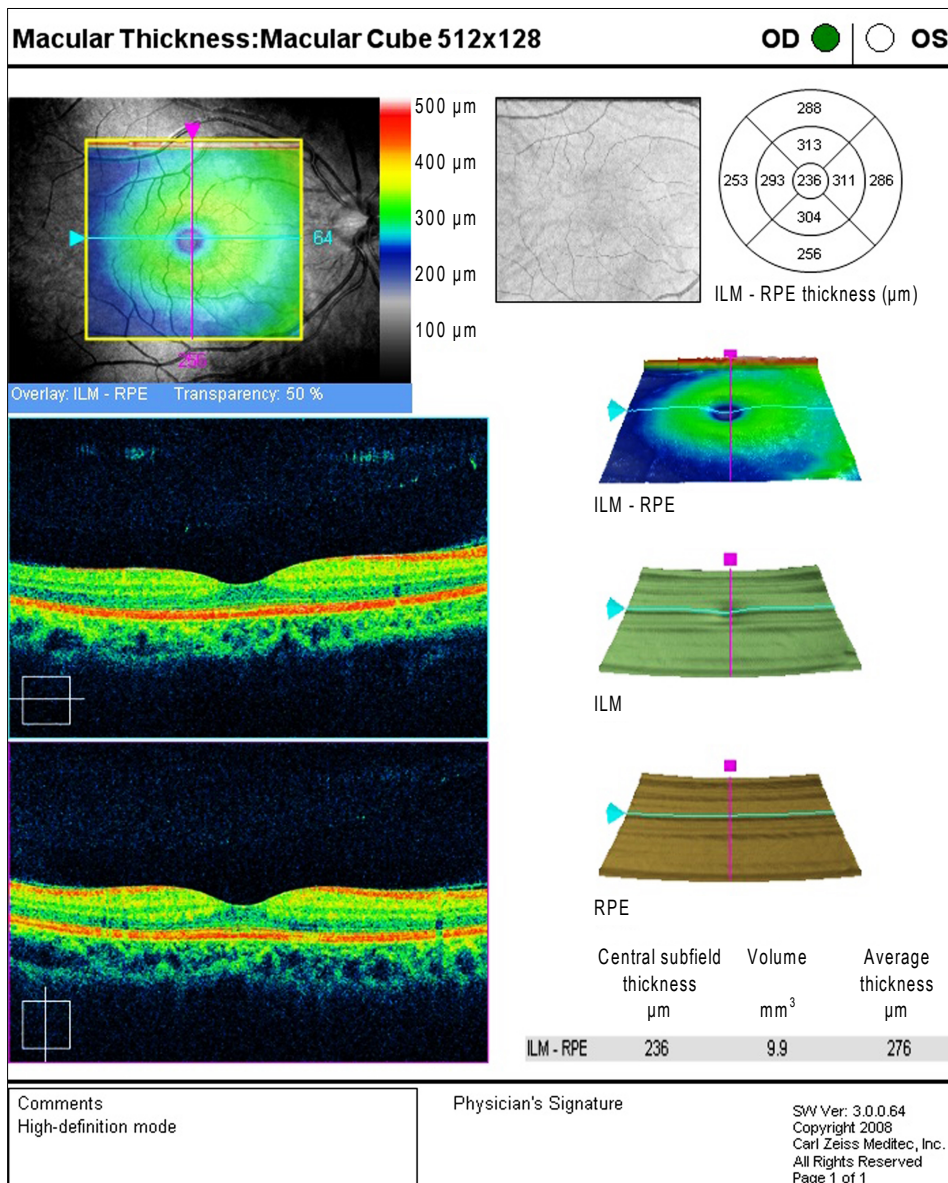


Figure 1. Standard output of Cirrus OCT, 512 × 128 macular cube (version 3.0.0.64, Carl Zeiss Meditec).

Table 1. Demographics

Demographics	Results
Age (mean $\pm$ SD, yr [range])	34.32 $\pm$ 9.30 (24.00 ~ 61.00)
<35 years	13/25 (52%)
$\geq$ 35 years	12/25 (48%)
Sex (M/F)	8/17
BCVA* (snellen)	1.0
Refractive error (SE [†] , mean $\pm$ SD, diopter [range])	-2.97 $\pm$ 2.59 (-9.13 ~ +1.13)
IOP (mean $\pm$ SD, mm Hg [range])	14.54 $\pm$ 2.34 (11.00 ~ 20.00)

*BCVA = best corrected visual acuity; [†]SE = spherical equivalent.

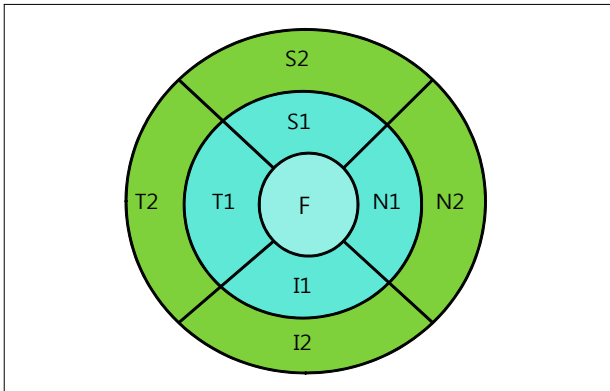


Figure 2. The macular thickness map of the right eye. F = fovea; S1 = superior inner; T1 = temporal inner; I1 = inferior inner; N1 = nasal inner; S2 = superior outer; T2 = temporal outer; I2 = inferior outer; N2 = nasal outer.

이 때 구역별 두께는 ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study) subfield로 나누어서 즉, 중심와를 기준으로 1 mm, 3 mm, 6 mm 직경의 3개의 동심원인, 중심원(central circle), 안쪽 원(inner ring), 바깥쪽 원(outer ring)구역을 상측, 비측, 하측, 이측의 4분역으로 구분하여 총 9개 구역의 황반두께 평균치를 구하였다(Fig. 2).^{1,6,14}

통계적 분석

SPSS version 12.0 (SPSS Inc, Chicago, III)으로 측정치 간 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)를 분석하여 반복성과 재현성을 알아보고, 연령, 성별 및 굴절 이상과 황반부 측정치간의 관계 및 연령과 굴절 이상이 반복성과 재현성에 영향을 미치는지를 알아보았다. 연령 및 근시 정도가 망막두께에 미치는 영향은 Pearson's correlation coefficient를 이용하여 상관관계를 분석하였으며, 성별에 따른 망막두께의 차이는 independent *t*-test로 평가하였다.

결 과

대상인 25명의 나이는 34.32 $\pm$ 9.30세(24.00~61.00

Table 2. Thickness and volume measurements

Measurements	Results (mean $\pm$ SD)
Foveal thickness (μ m)	256 $\pm$ 18.25
Average macular thickness (μ m)	279.64 $\pm$ 12.71
Total macular volume (mm ³)	10.03 $\pm$ 0.48
Thickness measurements (μ m)	
S1 (superior inner)	320.83 $\pm$ 15.93
T1 (temporal inner)	306.78 $\pm$ 14.64
I1 (inferior inner)	314.02 $\pm$ 16.27
N1 (nasal inner)	323.44 $\pm$ 18.34
S2 (superior outer)	278.49 $\pm$ 12.60
T2 (temporal outer)	260.09 $\pm$ 18.24
I2 (inferior outer)	267.96 $\pm$ 16.90
N2 (nasal outer)	297.83 $\pm$ 19.23

세)였으며, 이 중 35세 미만인 13명(52%), 35세 이상이 12명(48%), 40세 이상이 8명(32%)이었고, 남자가 8명, 여자가 17명이었다. 최대교정시력은 대상인 모두 양 안 1.0 (20/20)이었으며, 안압도 11~20 mmHg로 모두 정상범위 내였다. 평균 구면렌즈 대응치는 -2.97 $\pm$ 2.59D이었으며, -5.0D 미만이 40안(80%), -5.0D 이상이 10안(20%), -7.0D 이상이 5안(10%)이었다(Table 1).

Cirrus HD OCT로 측정한 중심와두께(Foveal thickness, μ m)는 256.2 $\pm$ 18.25 μ m, 총 황반부피(total macular volume, mm³)는 10.03 $\pm$ 0.48 mm³, 평균 황반두께(average macular thickness, μ m)는 279.64 $\pm$ 12.71 μ m이었다. 구역별 망막두께 측정 시 안쪽과 바깥쪽 원 모두에서 비측이 각각 323.44 $\pm$ 18.34 μ m, 297.83 $\pm$ 19.23 μ m로 가장 두껍고, 이측이 각각 306.78 $\pm$ 14.64 μ m, 260.09 $\pm$ 18.24 μ m로 가장 얇았다(Table 2).

대상자의 연령이 증가함에 따라 중심와두께는 유의하게 증가하였고(*p*<0.01), 총 황반부피 및 평균 황반두께도 증가하는 경향이었지만 통계적으로 의미 있지는 않았다(*p*=0.06, *p*=0.13). 또한 근시 정도가 심할수록 중심와두께는 두꺼워졌으나(*p*=0.03), 총 황반부피와 평균 황반두께는 감소하였다(*p*=0.04, *p*=0.04). 성별에 따른 중심와두께, 총 황반부피 및 평균 황반두께를 비교한 결과에서는 남자에서 각각 264.80 $\pm$ 21.62 μ m, 10.17 $\pm$ 0.46 mm³,

Table 3. ICCs and 95% limits of agreements of intraoperator results

Measurements	ICC*	95% limits of agreement
Foveal thickness	0.98	0.96 ~ 0.99
Average macular thickness	0.99	0.98 ~ 0.99
Total macular volume	0.96	0.94 ~ 0.97
Thickness measurements		
S1 (superior inner)	0.98	0.97 ~ 0.99
T1 (temporal inner)	0.98	0.97 ~ 0.99
I1 (inferior inner)	0.98	0.97 ~ 0.99
N1 (nasal inner)	0.98	0.97 ~ 0.99
S2 (superior outer)	0.93	0.89 ~ 0.96
T2 (temporal outer)	0.97	0.95 ~ 0.98
I2 (inferior outer)	0.97	0.95 ~ 0.98
N2 (nasal outer)	0.96	0.94 ~ 0.98

*ICC = intraclass correlation coefficient.

Table 4. ICCs and 95% limits of agreements of interoperator results

Measurements	ICC*	95% limits of agreement
Foveal thickness	0.96	0.93 ~ 0.97
Average macular thickness	0.99	0.98 ~ 0.99
Total macular volume	0.96	0.94 ~ 0.98
Thickness measurements		
S1 (superior inner)	0.98	0.96 ~ 0.99
T1 (temporal inner)	0.97	0.95 ~ 0.98
I1 (inferior inner)	0.96	0.94 ~ 0.98
N1 (nasal inner)	0.98	0.97 ~ 0.99
S2 (superior outer)	0.95	0.92 ~ 0.97
T2 (temporal outer)	0.95	0.93 ~ 0.97
I2 (inferior outer)	0.96	0.93 ~ 0.98
N2 (nasal outer)	0.98	0.97 ~ 0.99

*ICC = intraclass correlation coefficient.

Table 5. Comparison of reproducibility (upper) and repeatability (lower) by age and spherical equivalent

	Foveal thickness	Average macular thickness	Total macular volume
Age < 35 years	0.96 (0.92 ~ 0.98)	0.99 (0.98 ~ 0.99)	0.97 (0.95 ~ 0.99)
Age ≥ 35 years	0.96 (0.91 ~ 0.98)	0.96 (0.92 ~ 0.98)	0.97 (0.94 ~ 0.99)
SE* < -5.0 diopter	0.97 (0.95 ~ 0.98)	0.98 (0.97 ~ 0.99)	0.96 (0.93 ~ 0.98)
SE* ≥ -5.0 diopter	0.91 (0.74 ~ 0.98)	1.00 (0.99 ~ 1.00)	0.99 (0.97 ~ 1.00)
	Foveal thickness	Average macular thickness	Total macular volume
Age < 35 years	0.97 (0.94 ~ 0.99)	0.99 (0.98 ~ 1.00)	0.96 (0.92 ~ 0.98)
Age ≥ 35 years	0.98 (0.96 ~ 0.99)	0.98 (0.96 ~ 0.99)	0.97 (0.94 ~ 0.99)
SE* < -5.0 diopter	0.98 (0.96 ~ 0.99)	0.99 (0.98 ~ 0.99)	0.96 (0.94 ~ 0.98)
SE* ≥ -5.0 diopter	0.97 (0.93 ~ 0.99)	1.00 (0.99 ~ 1.00)	0.97 (0.91 ~ 0.99)

Data presented as intraclass correlation coefficient (95% limit of agreement).

*SE = spherical equivalent.

282.69 ± 12.96 μm이었으며, 여자에서는 각각 252.17 ± 14.86 μm, 9.97 ± 0.47 mm³, 278.21 ± 12.37 μm로 세 가지 측정치 모두 *t* 값이 0.01 미만으로 남녀간 유의한 차이를 보였다.

검사자내(intraoperator) 측정치 간 급내상관계수는 중심와두께, 총 황반부피 및 평균 황반 두께에서 각각 0.98, 0.99, 0.96이었으며, 구역별 황반두께 측정 시에도 모든 구역에서 0.93 이상으로 높은 반복성을 보여 주었다(Table 3). 또한 재현성을 알아보기 위하여 검사자간(interoperator) 측정치 사이의 급내상관계수 분석을 시행한 결과, 모든 측정치 항목에서 0.95-0.99로 높은 재현성을 나타냈으며 특히 총 황반부피에서의 반복성과 재현성이 다른 측정항목보다 더 좋았다(Table 4).

평균 나이를 감안하여 35세를 기준으로 구분한 연령별 두 그룹과 -5.0D를 기준으로 나눈 굴절이상별 두 그룹 내에서 각각의 급내상관계수를 비교해 볼 때 연령 및 굴절이상 이 반복성 및 재현성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다(Table 5).

고 찰

본 저자들은 이번 연구를 통하여 Cirrus HD OCT로 황반부 측정 시 한국인 정상안에서의 망막두께 및 황반부 부피를 알아보고, SD-OCT의 반복성 및 재현성을 평가하여 임상적 유용성과 정확성을 알아보았다. 반복성(repeatability)이란 동일 검사자가 동일장치와 방법으로 동일한 대상을 여러 번 측정하였을 때 얼마나 결과가 일치하는지를 보는 지표이고, 재현성(reproducibility)은 검사자 간 측정치의 일치도를 나타내는 지표로 측정의 전반적인 정확성 및 신뢰성과 관련이 있다.^{3,15,16} 본 연구에서 일치도를 알아보기 위하여 분석한 급내상관계수는 개체 내 개체간 분산(variance)의 합에 대한 개체간 분산의 비로 일반적으로 두 가지 이상의 양적 측정치 간의 신뢰성(reliability), 반복성(repeatability), 재현성(reproducibility)과 같은 일치성(consistency)과 정확도(accuracy), 타당성(validity)과 같은 적합성(conformity)을 알아보기 위해 사용한다.^{17,18} 통계학적으로 그 값이 1에 가까울수록 방법 간 일치도가 좋고, 0에 가까울수록 일치도가 안 좋은 것을 의미한다.^{17,19} 임상적으로 급내상관계수를 해

석할 때, 보통 0.9 이상인 경우 일치도가 훌륭하고, 0.7보다 큰 경우 임상적으로 유용한 일치도를 나타내며, 측정치 간 일치도가 높을수록 더 신뢰도가 높은 검사 방법으로 볼 수 있다.^{15,16}

SD-OCT들은 제조회사별로 고유의 분할 방식에 따라 망막외경계를 설정하는 기준선이 달라 검사치에 차이가 있고, 일반적으로 Stratus OCT보다 황반부가 더 두껍게 측정된다.^{4,6,11,13} 그러나 둘 사이 측정치 간 상관관계는 없는 것으로 나타났다.^{8,11,13} Cirrus HD OCT의 경우도, 망막색소상피층의 내측경계에서 내경계막의 내측경계까지를 측정하고, 망막색소상피의 앞쪽 경계를 망막외경계로 설정하고 있어서 여러 연구결과 Stratus OCT로 측정한 평균 망막두께보다 43 μm 이상 더 두껍게 나타났다.^{6,11,13} 본 연구에서는 두 기종 사이 직접적인 비교연구가 이루어지지 않은 제한점이 있지만 최근 Ko et al⁴이 Stratus OCT로 측정한 정상 한국인의 황반두께인 $186.86 \pm 21.47 \mu\text{m}$ 와 비교하였을 때 더 두껍게 측정되었다. 따라서 두 종류의 OCT가 혼용되는 현 시점에서 결과를 해석함에 있어서 이러한 점을 고려해야 하며, 망막 질환의 진단에 필요한 SD-OCT 각 기종별 표준화된 정상두께를 아는 것이 요구된다. 그러므로 한국인에서 Cirrus HD OCT의 정상 황반부 측정치를 알아본 것이 의의가 있다고 할 수 있다. 한가지 제한점은, 이번 연구에서처럼 산동을 하지 않고 OCT를 시행한 경우 황반두께의 과소 평가가 가능하다는 점이다.^{11,13,19} 본 연구에서는 정상안의 구역별 망막두께 분석 시에 안쪽 원과 바깥쪽 원 모두에서 비측, 상측, 하측, 이측 순서로 두꺼운 것으로 나타났으며 이는 기존의 Legarreta et al²⁰과 Kiernan et al¹³에 의한 연구결과와 일치한다. 이처럼 비측이 두껍게 나타나는 것은 해부학적으로 유두황반다발의 시신경으로의 수렴(convergence)에 의한 것으로 생각된다.^{1,13,20}

나이가 망막두께에 영향을 주는 것은 여러 연구에서 밝혀졌지만, 유의한 관계가 없다는 보고도 있으며, 그 변화의 양상에 대해서는 아직 논란이 많다.^{1,19-24} Kanai et al²¹ 및 Guedes et al²²은 중심소와 나이에 따라 변화가 없고, 그 외 부분은 나이에 따라 감소한다고 하였으며, Panda-Jonas et al²³은 시세포층의 밀도가 매년 0.2%씩 감소하고 망막상피세포의 밀도는 1년에 0.3%씩 감소한다고 하였다. 이와 달리 본 연구에서는 나이에 따라 황반두께가 증가하였으며, 유의하지는 않지만 황반 부피도 증가하는 경향을 보였다. 이 결과는 Kashani et al,²⁴ Huang et al¹의 연구결과와 유사하며, 나이에 따른 중심소와로의 모세혈관이탈(dropout)에 의한 간질의 부종이나 망막의 각 층에 대한 영향의 가능성을 뒷받침해줄 수 있다.²⁴

이번 연구에서는 근시 정도에 따라 평균 황반두께 및 망

막두께와 밀접한 관련이 있는 황반 부피가 유의한 감소를 보였다. 이는 정상 고도 근시안의 조직학적 검사 및 초음파와 Fourier 분석상 망막주변부로 갈수록 망막세포수가 감소하고 시신경섬유와 큰 혈관의 부재로 인해서 신장력과 견인력에 더 약하기 때문에 두께가 더 얇아지는 것과 관련이 있을 것으로 생각한다.^{11,25} 본 연구에서는 굴절력과 중심와두께는 서로 상관관계가 없다는 Shin et al²⁵의 이전 보고와 달리, 근시 정도와 중심와두께 간 유의한 양의 관계를 보였다. 이처럼 다른 결과를 보인 것은 표본수가 적고 대상자들의 근시 정도의 분포가 다르기 때문인 것으로 보이며, 이번 연구에서는 추가적으로 안축장에 대한 정보가 없었으므로 근시와의 관계를 확실히 증명하지는 못하였다.

성별에 따라 황반두께에 차이가 없다는 연구결과²²와 반대로 Wong et al⁷ 및 Massin et al²⁶의 보고에 따르면 남자가 여자에 비해 3 mm 직경의 중심망막두께가 유의하게 더 두꺼웠다. 본 연구에서도 이와 같은 결과를 보이고 있으며, 이는 사람에게 있어서도 호르몬의 차이에 의한 망막두께가 다를 수 있다는 것을 암시하지만 남녀간 차이의 정확한 원인은 밝혀져 있지 않다.^{7,27}

이번 연구는 SD-OCT를 이용하여 연령, 굴절이상 및 성별과 황반두께와의 관계를 분석한 기존 연구들과 비슷하게 표본수가 적고 종적인 연구가 부족하다는 한계점이 있다. 나이와 관련된 황반부 지표 분석에서는 20대, 30대, 40대 이상으로 구분하여 대상자를 선정하였기 때문에 연령의 분포가 제한적이고 대상자가 주로 2, 30대에 치우쳐져 있으며, 굴절이상에 따른 황반부두께 분석에 있어서도 근시 정도의 분포가 균일하지 못하고 포함되는 굴절이상의 정도가 제한적이라는 문제점이 있다. 따라서, 추후 더 넓은 연령대 및 굴절이상 별로 더 많은 대상자에서의 연구가 필요할 것으로 생각한다.

Cirrus HD OCT는 검사자내, 검사자간 황반두께 및 황반부 용적 측정치의 차이가 적었으며, 따라서 임상적으로 쉽게 망막두께의 정확한 측정이 가능하여 황반병증의 진단 및 경과 관찰에 유용할 것이다. 그러나 이번 연구의 가장 큰 제한점은 망막 질환이 없는 정상안만을 대상으로 하였기에 망막병증이 있을 경우 측정의 정확성을 알 수 없다는 것이다. 나이관련 황반변성이나 황반부를 침범하는 망막 질환이 있는 경우에는 Cirrus HD OCT가 망막 두께를 과대평가 할 수 있으므로 주의하여야 한다.²⁸ 뿐만 아니라 망막 질환 별로 맥락막신생혈관, 망막 내 낭포, 삼출물, 망막하액, 망막앞막 등의 동반여부에 따라 허상(artifact)이 증가하여 망막두께 측정의 알고리즘의 오류가 발생할 가능성이 증가할 수 있다.^{4,19,28} 실제로 황반병증이 있는 경우 상대적으로 중심와 두께 측정에 있어서 해상도가 떨어지며 측정치 간

다양성을 보인다는 보고가 있다.²⁸ 또한 OCT는 망막두께 분석기(RTA)보다 주시에 대한 의존성이 더 크며, 망막질환 존재 시 조준 광선을 환자가 주시하는 것이 어려워, 이에 따라 반복성과 재현성에도 차이가 있을 것으로 보인다.¹⁹ 따라서 황반부 질환의 진단 및 경과 관찰 시 정확성을 알아보기 위하여 각 질환 별 반복성과 재현성을 알아보는 연구가 추가로 필요할 것이다. 마지막으로 측정 기구의 발생 가능한 오류의 원인은 크게 정확도(accuracy), 편견(bias), 계측(calibration)오류와 같은 계통오차와 정밀도(precision)와 관련된 무작위오차로 나뉘 볼 수 있다.^{15,16} 그러므로 Cirrus HD OCT를 사용 시 반복성 및 재현 성으로 알 수 있는 정확도 외에 다른 오류를 일으킬 수 있는 원인들에 대한 고려도 필요하다.^{11,15}

결론적으로, 본 연구는 Cirrus HD OCT의 황반두께 측정치의 정상치 및 연령, 근시 정도와 성별에 따른 차이를 분석함으로써 망막질환의 진단에 참고가 되며, SD-OCT의 측정기구로서의 정확도를 알아봄으로써 그 임상적 유용성을 증명한 연구이다. 앞으로 더 나아가서 Cirrus HD OCT의 다양한 SD-OCT를 이용하여 더 큰 집단 및 여러 질환 별 측정치의 비교와 반복성 및 재현성에 관한 추가적인 연구가 필요하리라 생각한다.

참고문헌

- Huang J, Liu X, Wu Z, et al. Macular thickness measurements in normal eyes with time-domain and fourier-domain optical coherence tomography. *Retina* 2009;29:980-7.
- Sayanagi K, Sharma S, Kaiser PK. Comparison of retinal thickness measurements between three-dimensional and radial scans on spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2009;148:431-8.
- Hsu SY, Tung IC, Sheu MM, Tsai RK. Reproducibility of peripapillary retinal nerve fiber layer and macular retinal thickness measurements using optical coherence tomography. *Kaohsiung J Med Sci* 2006;22:447-51.
- Ko BW, Shin YW, Lee JM, et al. Comparison of macular thickness measurements between Fourier-domain and Time-domain Optical coherence tomography in normal eyes and eyes with macular diseases. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:1661-8.
- Ooto S, Hangai M, Sakamoto A, et al. Three-dimensional profile of macular retinal thickness in normal Japanese eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:465-73.
- Moon SW, Kim ES, Kim YG, et al. The comparison of macular thickness measurements and repeatabilities between time domain and spectral domain OCT. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:1050-9.
- Wong AC, Chan CW, Hui SP. Relationship of gender, body mass index, and axial length with central retinal thickness using optical coherence tomography. *Eye* 2005;19:292-7.
- Oh SB, Cho WB, Moon JW, Kim HC. Repeatability and agreement of macular thickness measurement using time domain OCT and spectral domain OCT in normal subjects. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:710-6.
- Menke MN, Dabov S, Knecht P, Sturm V. Reproducibility of retinal thickness measurements in healthy subjects using spectralis optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2009;147:467-72.
- Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, et al. Comparison of macular thickness measurements between time domain- and spectral domain-optical coherence tomography (OCT). *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:4893-7.
- 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.
- Kiernan DF, Mieler WF, Hariprasad SM. Spectral-domain optical coherence tomography: a comparison of modern high-resolution retinal imaging systems. *Am J Ophthalmol* 2010;149:18-31.
- Kiernan DF, Hariprasad SM, Chin EK, et al. Prospective comparison of cirrus and stratus optical coherence tomography for quantifying retinal thickness. *Am J Ophthalmol* 2009;147:267-75.
- Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Photocoagulation for diabetic macular edema. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study report number 1. *Arch Ophthalmol* 1985;103:1796-806.
- Maldonado MJ, Nieto JC, Diez-Cuenca M, Pinero DP. Repeatability and reproducibility of posterior corneal curvature measurements by combined scanning-slit and placido-disc topography after LASIK. *Ophthalmology* 2006;113:1918-26.
- Muscat S, Parks S, Kemp E, Keating D. Repeatability and reproducibility of macular thickness measurements with the Humphrey OCT system. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:490-5.
- Syc SB, Warner CV, Hiremath GS, et al. Reproducibility of high-resolution optical coherence tomography in multiple sclerosis. *Mult Scler* 2010;16:829-39.
- Müller R, Büttner P. A critical discussion of intraclass correlation coefficients. *Stat Med* 1994;13:2465-76.
- Polito A, Shah SM, Haller JA, et al. Comparison between retinal thickness analyzer and optical coherence tomography (OCT) for assessment of foveal thickness in eyes with macular disease. *Am J Ophthalmol* 2002;134:240-51.
- 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.
- Kanai K, Abe T, Murayama K, Yoneya S. Retinal thickness and changes with age. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi* 2002;106:162-5.
- Guedes V, Schuman JS, Hertzmark E, et al. Optical coherence tomography measurement of macular and nerve fiber layer thickness in normal and glaucomatous human eyes. *Ophthalmology* 2003;110:177-89.
- Panda-Jonas S, Jonas JB, Jakobczyk-Zmija M. Retinal photoreceptor density decreases with age. *Ophthalmology* 1995;102:1853-9.
- Kashani AH, Zimmer-Galler IE, Shah SM, et al. Retinal thickness analysis by race, gender, and age using stratus OCT. *Am J Ophthalmol* 2010;149:496-502.
- Shin JH, Lee HJ, Jin KH. The relationship between axial length, refractive power and foveal thickness measured by OCT in Koreans. *J Korean Ophthalmol Soc* 2005;46:701-6.
- Massin P, Erginay A, Haouchine B, et al. Retinal thickness in healthy and diabetic subjects measured using optical coherence to-

mography mapping software. Eur J Ophthalmol 2002;12:102-8.
27) Salyer DL, Lund TD, Fleming DE, et al. Sexual dimorphism and aromatase in the rat retina. Brain Res Dev Brain Res 2001;126:131-6.

28) Keane PA, Mand PS, Liakopoulos S, et al. Accuracy of retinal thickness measurements obtained with Cirrus optical coherence tomography. Br J Ophthalmol 2009;93:1461-7.

=ABSTRACT=

The Measurements of Macular Thickness and Volume with SD-OCT in Normal Eyes

Na Hee Kang, MD, Hyun-jin Kim, MD, Jeong-hee Lee, MD

Department of Ophthalmology, Ewha Womans University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: We investigated reproducibility and repeatability of average macular thickness and volume measurements in normal eyes with Cirrus HD OCT (optical coherence tomography).

Methods: Fifty normal eyes from twenty-five subjects without medical and ocular histories were included. Macular cube 512 × 128 combination scanning using the Cirrus HD OCT was performed for a total of three times on the same visit by an experienced technician. Then other two technicians performed one more macular scanning respectively. Within-results, the intraclass correlation coefficient (ICC) was calculated for each parameter studied to evaluate repeatability and reproducibility. The correlation between macular measurements and demographic variables (age, gender, and spherical equivalent) were also investigated.

Results: The ICCs for intraoperator reproducibility were 0.99 on the average macular thickness and 0.96 on the macular volume. And the ICCs for interoperator repeatability were found to be 0.98 and 0.96, respectively. The ICCs for measurements of nine regional retinal thickness also were higher than 0.90. The retinal thickness was correlated with age, gender and refractive error. However, neither age nor refractive error affected to reproducibility and repeatability.

Conclusions: The retinal thickness and macular volume measurements using Cirrus HD OCT in healthy volunteers showed excellent reproducibility and repeatability. Therefore, Cirrus HD OCT has been recognized as an useful tool for diagnosis and monitoring of variable maculopathies.

J Korean Ophthalmol Soc 2011;52(10):1182-1188

Key Words: Cirrus HD OCT, Macular thickness, Macular volume, Reproducibility & repeatability, Spectral domain OCT

Address reprint requests to **Jeong-hee Lee, MD**

Department of Ophthalmology, Ewha Womans University Mokdong Hospital

#911-1 Mok-dong, Yangcheon-gu, Seoul 158-710, Korea

Tel: 82-2-2650-5154, Fax: 82-2-2654-4334, E-mail: leejhoph@mm.ewha.ac.kr