

황반질환에 따른 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영의 다양한 오류 분석

신용운 · 이주향 · 전재연 · 송유미 · 조희운 · 이병로

한양대학교 의과대학 안과학교실

목적: 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영기(SD-OCT)에서 생기는 오류를 황반질환에 따라 분석하여 보고하고자 한다.
대상과 방법: 116명 116안을 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. 정상안 40안과 망막내 병변이 있는 45안, 망막하 병변이 있는 31안을 대상으로 SD-OCT (3D-1000, Topcon Corp., Japan)로 12×6 mm radial scan을 시행하였다. 각각의 스캔에서 나타나는 오류의 유형과 빈도를 조사하고 오류의 심각도를 점수화하여 질환군별로 비교하였다.
결과: 전체 116안 중 77안(66.38%)에서 최소 1개 이상의 오류가 발견되었다. 가장 흔한 오류는 망막두께의 내경계 설정 오류였고(25.86%), 황반중심이탈의 오류는 10.34%, 부적합한 영상획득 오류는 15.52%, 외경계 설정 오류는 8.6%였다. 전반적 오류 빈도는 망막 병리가 있을 경우 약 90%로 정상안 37.5%에 비해 월등히 높았다. 망막내 병변군이 다른 군보다 망막 외경계가 더 내측으로 설정되는 빈도가 높았다($p < 0.01$).
결론: SD-OCT는 황반질환에 따라 다양한 오류를 보이므로 OCT를 해석할 때 오류의 가능성을 항상 염두에 두어야 한다.
(대한안과학회지 2010;51(8):1084-1091)

빛간섭단층촬영(Optical Coherence Tomography, OCT)은 유리체망막 질환의 평가에 있어 중요한 비침습적 진단 도구로 특히 황반부 질환의 진단에 유용하다. 전통적 방식의 시간영역 빛간섭단층촬영(Time-domain OCT, TD-OCT)은 840 nm의 파장과 25 nm의 대역폭의 광원을 이용해 간섭계(interferometer)를 통한 후방 산란된 빛을 움직이는 거울(reference mirror)로부터 반사되어 나온 빛의 반향시간차를 측정해 10 μ m의 축 해상도 이미지와 초당 400회 A-scan 속도를 갖게 된다.¹ 이러한 TD-OCT는 망막질환의 진단에 있어 획기적인 발전을 가져왔지만 정확한 망막 상태 평가를 방해하는 다양한 오류를 일으키기도 하며 특히 병적인 망막에서 그 빈도가 높다는 보고도 있다.²⁻⁸ 특히 최근 들어 연령관련황반변성, 당뇨황반부종 등의 다양한 황반질환 치료에 유리체강 내 항혈관생성인자(anti-VEGF) 주입 치료가 널리 보급되면서 치료 경과관찰에 정확한 황반두께 측정값이 요구되나 TD-OCT의 오류는 이러한 문

제를 어렵게 만들었다.⁹⁻¹³ Ray et al⁵은 TD-OCT가 일으키는 오류를 망막경계설정 문제, 이미지가 등록되지 않는 문제, 불량한 화질, 중심이탈 등 5가지로 분류하기도 하였다. 이러한 문제들은 임상적으로 주로 망막두께 측정오류를 일으키고 질병의 진단 및 치료결과 판정에 혼선을 줄 수 있다.

반면에 최근에 등장한 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영(Spectral-domain OCT, SD-OCT)은 50 nm의 대역폭을 갖는 superluminescent 광원으로 고정된 거울(reference mirror)을 이용해 간섭 스펙트럼을 얻고 이 정보를 푸리에 변환을 통하여 5-8 μ m의 축 해상도와 초당 20,000회 이상의 A-scan을 통해 영상을 얻게 된다. 따라서 SD-OCT는 TD-OCT에 비해 빠른 속도로 망막구조를 더 자세히 보여 줄 수 있다.¹⁴⁻¹⁷ SD-OCT의 고해상도, 빠른 이미지 획득, 정교한 이미지 처리 소프트웨어 등은 TD-OCT에 비해 오류가 매우 적을 것으로 예측되었으나 실제 SD-OCT도 높은 오류를 보일 수 있다는 최근 몇몇 보고가 나오고 있으나 아직까지 연구가 미흡하며 국내에서는 SD-OCT 오류관련 보고가 없다.^{18,21} 이에 저자들은 SD-OCT가 일으키는 오류들을 분류하여 빈도를 분석하고 황반질환별로 오류가 어떻게 차이가 나는지 분석하였다.

■ 접수 일: 2010년 1월 6일 ■ 심사통과일: 2010년 6월 30일

■ 책임저자: 이 병 로

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

대상과 방법

* 본 논문의 요지는 2009년 대한안과학회 제101회 학술대회에서 구연으로 발표되었음.

2008년 9월부터 2009년 3월까지 본원 안과외래를 방문

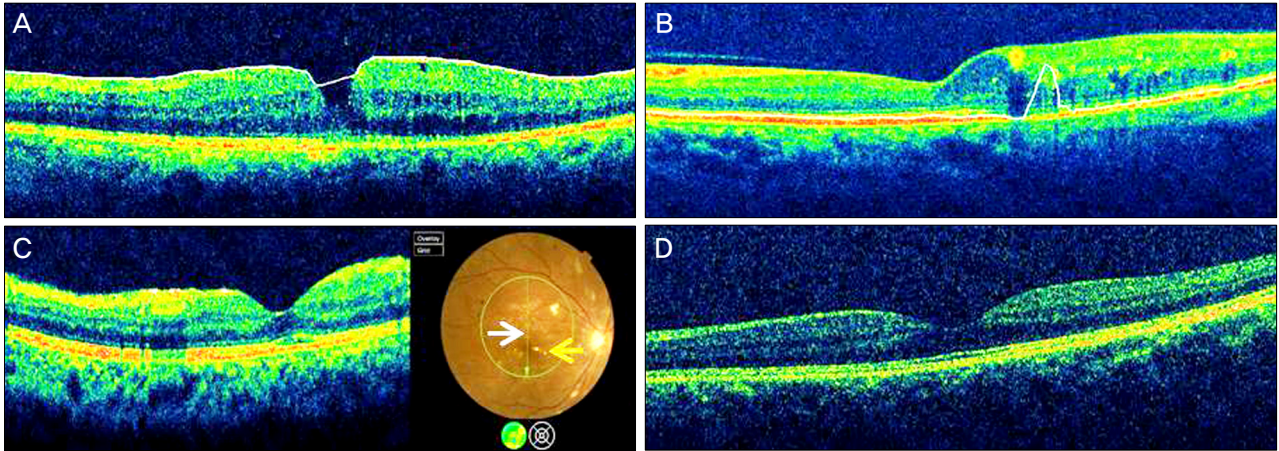


Figure 1. Type of artifacts of Fourier-domain OCT in current study. (A) IRBM, inner retina boundary misidentification. (B) ORBM, outer retina boundary misidentification. (C) Off center fixation: white arrow, center of OCT; yellow arrow; center of retina. (D) Degraded image, note that Q factor of this image is 30.98, which means signal strength of OCT is low.

하여 SD-OCT를 찍은 116명 116안을 대상으로 의무기록과 검사기록을 후향적으로 분석하여 연구를 진행하였다.

대상안들을 정상군과 질병군으로 분류하였으며 질병군은 다시 망막내 병변(intraretinal pathology, IRP) 그룹과 망막하 병변(subretinal pathology, SRP) 그룹으로 분류하였다. 망막내 병변 그룹에는 당뇨황반부종, 전층황반원공, 특발성 망막약막, 망막정맥폐쇄와 연관된 황반부종 등이 포함되었으며 망막하 병변 그룹에는 삼출성 연령관련황반변성, 다양한 원인에 의한 맥락막신생혈관 등이 있는 질환들을 포함시켰다. 망막하 병변과 망막내 병변이 공존할 경우에는 진단과 병변의 중등도에 기초하여 분류하였다. 양안에 병변이 있는 환자는 병변이 더 심한 쪽 눈을 택하였고 단안에만 문제가 있을 경우 그 눈만 연구에 포함시켜 한 환자당 한 눈만 분석하였다.

검사에 사용된 SD-OCT는 3D OCT-1000 Mark II (software version 3.20, Topcon corp., Tokyo, Japan)으로 5 μ m의 축 해상도와 초당 27,000 A-scan 이미지 획득 속도를 가지고 있다. 장비에 내장된 6 mm \times 12 radial scan protocol (0.5 seconds; 12 radial scans with 1024 A-scans each)을 이용하여 모든 환자들을 대상으로 1명의 숙련된 검사자가 검사를 시행하였고 2명의 망막 전문의가 맹검법으로 판독하였다. 환자의 협조에 따라 최대 2회까지 촬영하였고 이미지가 선명한 것을 선택하여 연구에 포함시켰다. 검사 대상자들은 산동제(미드린피®, 태준제약)를 점안 후 30분 뒤 촬영하였다. 3D macular cube scan이 12 radial scan보다 황반부 전체를 포함시킬 수 있다는 장점이 있지만 분석할 이미지가 128개로 너무 많아 오류 분석과 교정에 부적당하여 12 radial scan을 본 연구의 프로토콜로 정하였다.

본 연구에서는 SD-OCT가 만드는 오류를 크게 망막내경계 설정오류(inner retina boundary misidentification, IRBM), 망막외경계 설정오류(outer retina boundary misidentification, ORBM), 중심부 이탈 오류(off center artifacts, OFA), 그리고 부적합한 영상획득 오류(Degraded image, DI) 4가지로 분류하였다(Fig. 1).

이미지 등록오류(out of register) 등을 오류 분류에 포함하는 보고들이 있으나 본 연구에서는 검사자가 촬영 후 등록오류가 있을 경우 재촬영을 하여 등록오류가 생기는 경우가 없어 연구에 포함되지 않았다. 각각의 오류에 대해 Sadda et al⁶에 의해 기술된 오류 점수화 방법을 약간 변형하여 평균 오류 점수를 구하였고(Average error score; AES) 2명의 망막 전문의가 이미지들을 분석하여 점수를 매긴 후 평균내었다. 황반 중심부의 오류가 주변부에 비해 임상적 판단에 있어 더 영향력 있는 요소이기 때문에 Sadda et al⁶의 방법은 황반 중심부에 오류가 있으면 오류 종류에 관계없이 1점의 가중치를 부여하였으나 본 연구에서는 망막 중심부와 주변부를 분리하여 분석했기 때문에 가중치를 부여하지 않았다. 황반 중심부(central macula, CM)는 망막 중심부를 기준으로 1 mm 지름을 갖는 원 내부로 정의하였고 황반 주변부(outer macula, OM)는 망막 중심부를 기준으로 6 mm 지름의 원에서 황반 중심부를 제외한 나머지 지역으로 정의하였다. 중심부 이탈오류와 부적합 영상획득 오류의 경우에는 오류가 있을 경우 1점, 없을 경우 0점을 부여하였으며 부적합 영상획득 오류 기준은 이미지의 신호강도를 나타내는 3D OCT-1000의 Q factor를 이용하여 제조사 권장 기준치인 50 미만의 수치가 나올 경우 이미지 부적합으로 판정하였다. 경계설정 오류의 경우는 경계오류가 존재할 경우 1점, 수평이나 수직선 방향으로 전체 범위

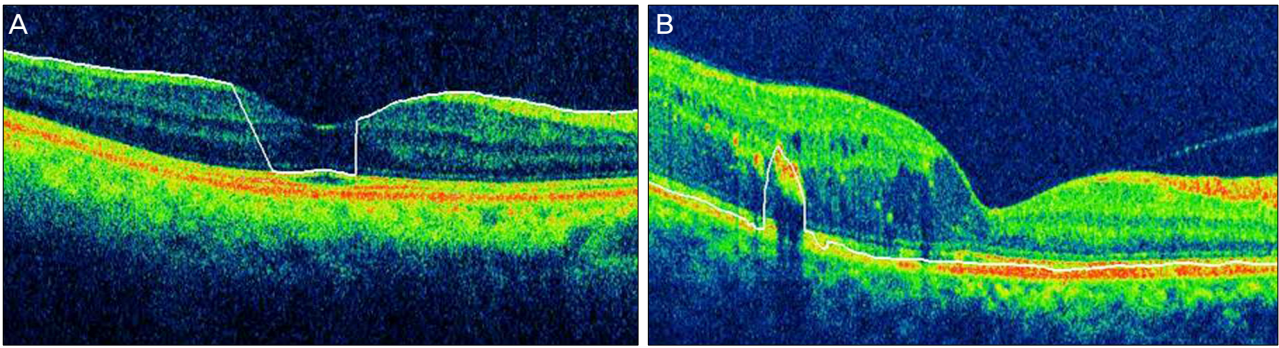


Figure 2. Examples of artifact scoring. (A) OCT image shows inner retina boundary misidentification of central macula. 1 point is given due to presence of error. Because deviations of horizontal and vertical line are more than two thirds of the central macula respectively, 4 points are added. Therefore, the sum of error scores in this scan is 5 points. (B) OCT image shows outer retina boundary misidentification of the outer macula. One point is given due to presence of error. Only 1 point is added because deviation of the horizontal line is less than one third of the outer macula and deviation of the vertical line is from one third to two thirds of the outer macula. The sum of error score is 2 points.

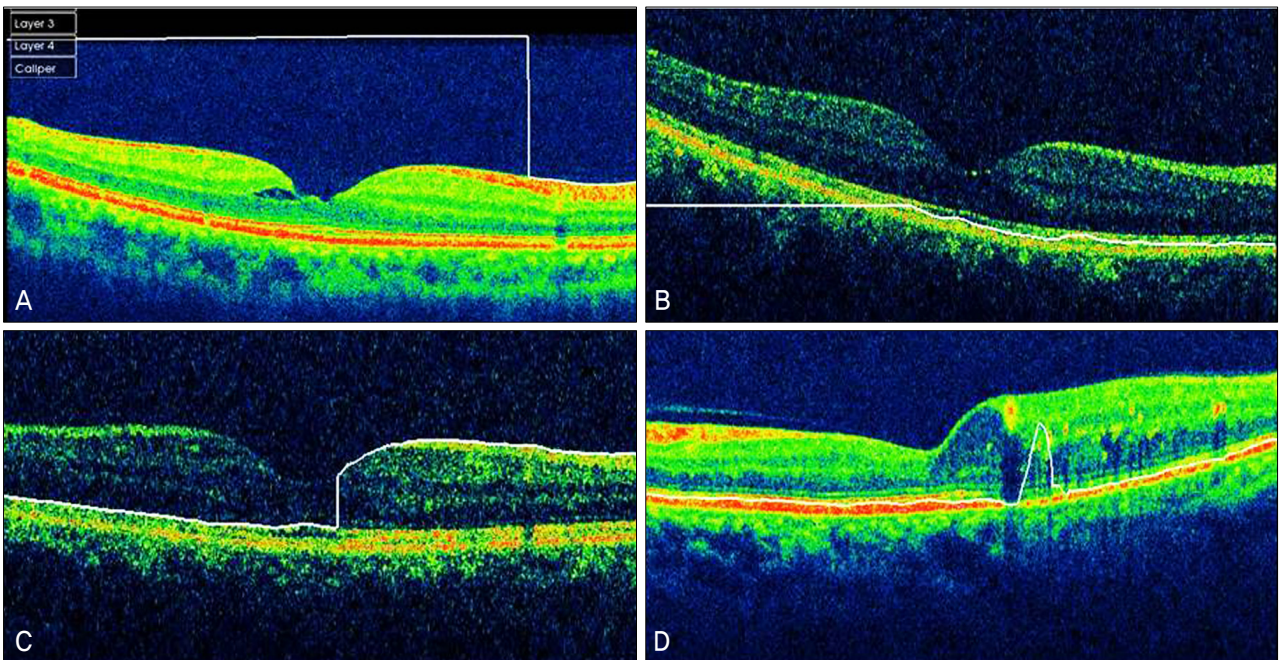


Figure 3. Examples of wrong measured MT. (A) Overestimation of MT due to IRBM. (B) Overestimation of MT due to ORBM. (C) Underestimation of MT due to IRBM. (D) Underestimation of MT due to ORBM. MT = macular thickness; IRBM = inner retina boundary misidentification; ORBM = outer retina boundary misidentification.

에서 3분의 1 이상, 3분의 2 미만의 경계설정 오류가 있을 경우 1점 추가, 3분의 2 이상의 범위를 포함하는 경계설정 오류가 있을 경우 2점을 추가하여 이미지 하나당 0점에서 5점을 부여할 수 있도록 하였다. 경계 설정오류는 중심부 1 mm 지점과 중심부 1 mm를 제외한 주변부 지점을 분류하여 각 부분에 대해 따로 점수를 부여하여 총 4 종류의 오류 점수를 구하였다. 한 눈을 촬영할 때 나오는 12장의 이미지 각각을 분석하고 점수를 부여, 이를 평균하여 최종 오류 점수를 정하였다(Fig. 2).

이와 같은 이미지 분석을 통하여 SD-OCT가 만드는 전

반적인 오류의 빈도를 구하고 수치화한 오류 정도를 통계적으로 분석하여 정상군과 질병군간 오류 차이를 알아보았다. 또한 경계설정 오류로 인하여 황반부 두께가 잘못 측정되는 빈도를 조사하였다. 빈도 측정은 한눈당 촬영된 12장의 이미지를 각각 판독하여 내경계 혹은 외경계 설정오류로 황반두께가 과측정되거나 부족 측정된 이미지 수를 더하여 전체 12장으로 평균내어 분석하였다(Fig. 3). Statistical Package for the Social Sciences (version 17.0, SPSS Inc. Chicago, U.S.)를 이용하여 각 군별 오류를 ANOVA 분석을 통해 비교하였다.

Table 1. Demographic data in current study

	Disease groups (n=116)				P-value
	Normal (n=40)	IRP (n=45)		SRP (n=31)	
Age (yr)	54.65 ± 13.59	57.81 ± 12.70		60.64 ± 11.09	0.03*
Sex (Male : Female)	16 : 24	19 : 26		17 : 14	0.42†
Diagnosis (number)		DME	25	eAMD CNV	20
		RVOME	10	nonAMD CNV	9
		FTMH	4	Others	2
		ERM	4		
		Others	2		

*ANOVA test, †Pearson chi-square test. IRP=intraretinal pathology; SRP=subretinal pathology; DME=diabetic macular edema; RVOME=retinal venous occlusion with macular edema; FTMH=full-thickness macular hole; ERM=idiopathic epiretinal membrane; eAMD CNV=choroidal neovascularization due to exudative age-related macular degeneration; nonAMD CNV=choroidal neovascularization due to other various macular disease.

Table 2. Frequency of artifacts in spectral-domain OCT based on underlying pathology

	Normal	IRP	SRP	Total
IRBM	20.0% (n=8)	35.60% (n=16)	12.90% (n=6)	25.86% (n=30)
ORBM	0% (n=0)	6.7% (n=3)	19.40% (n=7)	8.62% (n=10)
Both (IRBM+ORBM)	10.0% (n=4)	35.6% (n=16)	45.2% (n=14)	29.31% (n=34)
Off center fixation	0% (n=0)	17.78% (n=8)	13.79% (n=4)	10.34% (n=12)
Degraded image	7.5% (n=3)	22.22% (n=10)	17.24% (n=5)	15.52% (n=18)
Presence of any errors	37.5% (n=15)	88.89% (n=40)	96.7% (n=30)	
Overall rate of errors	66.38% (n=77)			

IRP=intraretinal pathology; SRP=subretinal pathology; IRBM=inner retinal boundary misidentification; ORBM=outer retinal boundary misidentification. Retinal boundary misidentifications can be coexisted with off center fixation or degraded image error.

결 과

전체 116명 116안 중 남자는 52안, 여자는 64안이었다. 이 중 정상안은 40안이었으며 IRP군은 45안, SRP군은 31안이었다. 정상안의 평균 나이는 54.65 ± 13.59세, IRP 군은 57.81 ± 12.70세, SRP군은 60.64 ± 11.09세였다. IRP 군 중 당뇨황반부종은 25안, 황반부종을 동반한 망막정맥 폐쇄는 10안, 특발성 망막앞막 4안, 전층황반원공 4안, 기타 2안이 포함되었고 SRP군에는 삼출성 연령관련 황반변성 20안, 다양한 원인에 의해 발생한 맥락막신생혈관 9안, 기타 2안이 속했다(Table 1).

SD-OCT 검사를 시행받은 116안 중 77안에서 최소 1개 이상의 오류가 발견되었으며 66.38%의 오류 빈도를 보였다. 외경계 설정 오류는 10안(8.6%), 내경계 설정 오류는 30안(25.86%), 중심이탈오류는 12안(10.34%), 부적합 영상획득은 18안(15.52%)에서 나타났다. 중심이탈오류는 정상안에서는 발견되지 않았고 질병군에서만 나타났다(Table 2).

SD-OCT가 만드는 각각의 오류에 대한 점수는 경계오류의 경우 0~5점, 중심이탈오류와 부적합 영상획득 오류는 0~1점 범위를 갖는다. 내경계 오류는 황반 중심부의 경우 정상안은 0.65 ± 1.44점, IRP군은 0.75 ± 1.12점, SRP군은 0.82 ± 1.44점이었다. 황반 주변부의 내경계 오류는 정상

안 0.61 ± 1.28점, IRP군 0.73 ± 1.02점, SRP군 0.63 ± 1.03점 이었다. 외경계 오류의 경우 황반 중심부에서 정상안 0.00 ± 0.01점, IRP군 0.17 ± 0.55점, SRP군 0.13 ± 0.34점 이었다. 황반 주변부는 정상안 0.04 ± 0.15점, IRP군 0.34 ± 0.66점, SRP군 0.27 ± 0.42점이었다. 중심이탈 오류는 정상안에서는 없었고 IRP 군은 0.15 ± 0.36점, SRP군은 0.20 ± 0.41점이었다. 부적합영상획득 오류는 각각 정상안 0.07 ± 0.26 점, IRP군 0.13 ± 0.34점, SRP군 0.10 ± 0.31점 이었다(Table 3).

내경계 설정오류는 정상안에 비해 질병군(IRP, SRP)의 오류 점수가 더 높았지만 통계적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 외경계오류의 경우 역시 전반적으로 정상안에 비해 질병군의 오류 점수가 높게 나왔다. 중심오목부위의 경우 정상안과 질병군 간의 통계적 차이가 나타나지 않았으나 중심오목주변부에서 정상안과 IRP군 사이에서 IRP군이 통계적으로 의미 있게 더 높은 외경계오류 점수를 보였다($p=0.013$, Table 4). 중심부 이탈 오류는 정상안과 SRP군 사이에 통계적으로 의미 있는 차이를 보였고($p=0.040$) IRP군 사이에서는 경계성의 통계적 차이를 보였다($p=0.053$). 부적합 영상획득 오류는 정상안과 질병군 간에 큰 차이를 보이지 않았다(Table 4).

SD-OCT에서 나타난 경계설정 오류는 정상적인 황반두

Table 3. Average error score (AES) of artifacts based on underlying pathology

Diagnosis	IRBM		ORBM		Off center fixation	Degraded image
	CM	OM	CM	OM		
	Range 0 ~ 5					
Normal	0.65 ± 1.44	0.61 ± 1.28	0.00 ± 0.01	0.04 ± 0.15	0	0.07 ± 0.26
IRP	0.75 ± 1.12	0.73 ± 1.02	0.17 ± 0.55	0.34 ± 0.66	0.15 ± 0.36	0.13 ± 0.34
SRP	0.82 ± 1.44	0.63 ± 1.03	0.13 ± 0.34	0.27 ± 0.42	0.20 ± 0.41	0.10 ± 0.31
Total	0.73 ± 1.29	0.67 ± 1.11	0.10 ± 0.41	0.22 ± 0.51	0.10 ± 0.31	0.10 ± 0.31

CM=central macular area; OM=outer macular area; IRBM=inner retinal boundary misidentification; ORBM=outer retinal boundary misidentification; IRP=intraretinal pathology; SRP=subretinal pathology.

Table 4. Comparison of average error score between each group (*P-value)

	Error type					
	IRBM (CM)	IRBM (OM)	ORBM (CM)	ORBM (OM)	Off center fixation	Degraded image
N-I	0.932	0.853	0.114	0.013	0.053	0.671
I-S	0.976	0.929	0.904	0.871	0.763	0.938
S-N	0.885	0.998	0.509	0.212	0.04	0.945

IRBM=inner retinal boundary misidentification; ORBM=outer retinal boundary misidentification; CM=central macula; OM=outer macula; N-I=comparison of AES between normal and intraretinal pathology groups; I-S=comparison of AES between intraretinal and subretinal pathology group; S-N=comparison of AES between normal and subretinal pathology group. *ANOVA test with Turkey's multiple comparison test.

Table 5. Average numbers of scans which show wrong measured macular thickness in SD-OCT

	Normal	IRP		SRP	
	Number of scans	Number of scans	*P-value	Number of scans	P-value
OMT due to IRBM	0.98 ± 2.22	1.64 ± 2.28	0.572	1.40 ± 2.11	0.275
UMT due to IRBM	0.88 ± 2.60	1.53 ± 2.49	0.482	1.50 ± 3.49	0.680
OMT due to ORBM	0.12 ± 0.40	0.31 ± 1.17	0.572	0.50 ± 0.76	0.275
UMT due to ORBM	0.02 ± 0.16	1.44 ± 2.44	0.000	0.55 ± 1.19	0.0519

OMT=overestimation of macular thickness; UMT=underestimation of macular thickness; IRBM=inner retinal boundary misidentification; ORBM=outer retinal boundary misidentification; IRP=intraretinal pathology; SRP=subretinal pathology. *Mean comparison of the number of abnormal scans between normal and pathology group by ANOVA test.

계를 과측정하거나 부족측정하게 만든다. 한 눈에서 얻어진 12장의 이미지 중에서 내경계 설정오류로 황반두께가 과측정된 빈도는 정상안 0.98장, IRP군 1.64장, SRP군 1.40장이었고 부족 측정된 경우는 정상안 0.88장, IRP군 1.53장, SRP군 1.50장이었다. 외경계 설정오류로 황반두께가 과측정된 경우는 정상안 0.12장, IRP군 0.31장, SRP군 0.50장이었고 부족측정된 경우는 정상안 0.02장, IRP군 1.44장, SRP군 0.55장이었다(Table 5). 이중 IRP군만 정상안보다 황반두께가 부족측정되는 빈도가 통계적으로 높았다($p=0.001$, Fig. 3).

고 찰

OCT가 만드는 오류를 분석한 기존의 연구결과를 보면 OCT의 종류나 분석 방법, 분석에 포함된 망막질환에 따라 오류 발생률이 달랐다. Ray et al⁵은 TD-OCT를 이용하여 망막두께지도를 측정 한 후 지도에서 중심오목이 보이지 않거나 중심부 이탈이 보이는 지도만을 골라 6 radial scan의

이미지를 분석하여 약 42%의 오류 발생률을 보고하였다. 반면에 Sadda et al⁶은 역시 TD-OCT를 이용하여 망막두께지도와 관계없이 6 radial line이나 fast macular thickness 프로토콜로 촬영한 모든 이미지의 오류를 분석하여 이미지의 약 92%에서 하나 이상의 오류가 발생했다고 발표했다. 최근 발표된 다양한 SD-OCT와 TD-OCT 간의 오류를 비교한 Ho et al¹⁸의 연구에서는 73.8%의 TD-OCT 오류 발생을 보였다. 본 연구에서는 오류 종류에 관계없이 하나 이상의 오류를 갖는 SD-OCT 이미지 비율이 66.38%였고 이는 Ho et al¹⁸이 발표한 Topcon Radial 프로토콜이 만드는 오류 빈도 73.6%보다는 낮았다. 이미지 등록 오류(out of register)를 Ho et al¹⁸의 연구에서는 오류분석에 포함시켰으나 본 연구에서는 검사자가 최종 촬영 전 Live OCT 이미지를 보면서 이미지 등록 오류가 발생하지 않도록 기계를 조정하였기 때문에 이미지 등록 오류를 분석 대상에서 제외하였다. Ho et al¹⁸의 연구에서 이미지 등록 오류를 제외시키면 오류 빈도는 69.8%로 본 연구와 유사한 결과를 보인다. SD-OCT는 TD-OCT에 비해 높은 해상력

과 빠른 촬영속도, 정교해진 내장 소프트웨어를 바탕으로 TD-OCT보다 전반적인 오류 발생을 줄이긴 하였으나 여전히 높은 빈도로 오류가 나타남을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 Sadda et al⁶이 제시했던 오류 점수화 방법을 변형하여 망막질환에 따른 오류의 심각도를 분석하였다. 정상군뿐 아니라 IRP군, SRP군 모두 AES 5점 만점의 50%에도 미치지 않는 점수를 보여 오류의 빈도는 높을 수 있으나 오류의 심각도는 높지 않음을 알 수 있다. AES는 정상군이 IRP군과 SRP군에 비해 평균 점수가 낮았지만 정상군과 IRP군 사이의 외경계 설정 오류 점수를 제외한 나머지 경계 설정 오류는 AES가 통계적인 차이를 보이지 않았다. 연령관련황반변성이나 다양한 원인에 의한 맥락막신생혈관 등은 망막색소상피를 두께나 위치를 변화시켜 OCT에서 고굴절도를 보이는 망막색소상피를 기계가 정확하게 인지하지 못하기 때문에 외경계 설정 오류가 빈번히 나타나는 것으로 보이고 TD-OCT에서도 비슷한 결과를 보인다. 내경계 설정 오류가 외경계 설정 오류보다 높은 AES를 보이는데 이는 기존의 연구들과 유사한 결과를 보인다. 이러한 이유는 후유리체 박리, 망막야막, 유리체망막 견인증후군 등의 유리체망막 인접부 질환이 내경계 설정 오류를 빈번히 일으키기 때문이며 본 연구에서도 IRP군에 유리체망막 인접부 질환이 다수 포함되었다.

중심부 이탈 오류는 TD-OCT를 이용한 연구에서 Sadda et al⁶은 9.57%, Domalpally et al⁸은 15.4%의 빈도를 보였다. 본 연구에서는 10.34%의 중심부 이탈 오류를 보였는데 이는 SD-OCT를 연구한 Ho et al¹⁸의 연구 13%와 비슷한 수치를 보인다. 이번 연구에서 중심부 이탈은 SRP군에서만 정상군과 통계적으로 의미 있는 차이($p=0.04$)를 보였고 이는 기존 연구와 비슷한 결과를 보였다.^{6,18} 중심부 이탈은 크게 환자 요인과 검사자 요인으로 나눌 수 있는데 환자 요인은 SRP군의 대부분은 황반부에 맥락막신생혈관이 있거나 망막하액이 있는 환자들로 이로 인한 중심압점은 촬영 시 시선 고정을 어렵게 만드는 요인일 수 있다.²⁻⁸ 촬영 시 환자요인으로 인해 시선의 중심고정이 어렵더라도 검사자가 재촬영을 시도할 경우 중심부 이탈을 방지할 수 있다. 본 연구에서는 검사자가 2회의 시도에도 중심부 고정을 시키지 못한 경우를 연구에 포함시켰다.

부적합 영상 획득 오류의 경우 Q factor 수치가 황반질환의 유무와 종류에 관계없이 각 군 간 통계적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 이는 황반질환 종류보다 매체 혼탁 여부가 OCT 이미지 질을 좌우하기 때문이며 심한 백내장이나 유리체 혼탁이 있는 환자들의 이미지 판독이 어려운 경우가 많았다.^{19,20} 이번 연구에서는 환자들의 백내장 상태나 유리체 혼탁 유무 등을 고려하지 않고 무작위로 연구를

진행하였기에 매체혼탁과 SD-OCT 이미지 불량 간의 관계를 밝히지는 못했다. 같은 백내장 정도를 갖고 있다 하더라도 Stratus OCT에 비해 SD-OCT의 이미지가 선명한 경우가 많은데 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다

본 연구에서는 경계 설정 오류가 발생하여 망막두께가 비정상적으로 측정되는 빈도를 측정하였다. SD-OCT 제조사 OCT에 내장된 자동 알고리즘의 경계설정 범위가 다른데 본 연구에 사용된 3D OCT-1000 Mark II (software version 3.20, Topcon Corp., Tokyo, Japan)는 망막외경계가 망막색소상피의 상부로 설정되어 있으며 이는 망막시세포 광수용체의 내/외분절 경계를 망막외경계를 설정하는 TD-OCT와 차이를 보인다.²² 경계 설정 오류가 없을 때의 망막두께와 오류가 발생했을 때의 망막두께는 측정하지 않았기 때문에 경계 설정 오류가 어느 정도로 망막두께 측정에 영향을 미치는지에 대해서는 조사하지 않았다. 정상군이 IRP군과 SRP군에 비해 망막두께가 과측정되거나 부족 측정되는 빈도가 낮긴 하였으나 통계적인 차이는 보이지 않았다. 단 IRP군의 경우 정상군에 비해 외경계 설정 오류로 인해 망막두께가 정상보다 부족측정 되는 빈도가 통계적으로 의미 있게 높았다. 본 연구에서 IRP군에 속한 질환 중 55.56%가 당뇨황반부종이었다. 경성삼출물을 동반한 당뇨황반부종은 OCT에서 경성 삼출물이 망막내부에 고굴절도를 나타내 OCT 소프트웨어가 경계설정 시 비슷한 고굴절도를 보이는 망막색소상피와 혼선을 일으켜 외경계 설정 오류를 만들게 된다.^{4-7, 18} 따라서 망막두께가 실제보다 얇게 측정될 수 있다.

이번 연구의 제한점으로는 후향적 연구라는 점과 Sadda et al⁶이 언급했듯이 연구에 사용된 오류의 심각도를 측정하기 위한 점수화 체계가 주관적이라는 것이다. 주관적인 관점에서 점수를 부여했기 때문에 오류의 점수와 오류의 심각도가 선형비례를 보인다고 할 수는 없다. 또 다른 문제로는 증례가 많지 않고 각 군별로 포함된 황반질환의 분포가 균일하지 않다는 점이다. 마지막으로 경계 설정의 오류가 일으키는 가장 큰 문제점은 망막두께를 정확히 측정할 수 없다는 것인데 본 연구에서는 경계 설정 오류가 어느 정도의 망막두께 측정 오류를 일으키는지 분석하지 않고 빈도만 측정했다는 점이다.

TD-OCT를 거쳐 현재 SD-OCT가 널리 임상에서 사용되고 있다. 분명 SD-OCT가 TD-OCT에 비해 다양한 장점을 지니고 있지만 여전히 기계가 만드는 오류가 흔하게 나타나고 있다. 임상가들은 특히 SD-OCT를 통한 망막두께를 평가할 때 OCT가 일으키는 오류를 고려하여 질병의 진단 및 치료경과 등을 판단하여야 한다. SD-OCT가 일으키는 오류들은 기계 내 내장된 분석 소프트웨어의 업그레

이드나 수동으로 오류 수정을 함으로써 극복할 수 있을 것으로 기대하며 검사자의 숙련도 역시 오류를 줄이는 중요한 요소 중의 하나이다. SD-OCT가 일으키는 오류를 수정하여 정확한 망막두께를 측정할 수 있는 실용적인 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254:1178-81.
- Leung CK, Chan WM, Chong KK, et al. Alignment artifacts in optical coherence tomography analyzed images. *Ophthalmology* 2007;114:263-70.
- Patel PJ, Chen FK, Cruz L, Tufail A. Segmentation error in Stratus optical coherence tomography for neovascular age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50:399-404.
- Ghazi NG, Kirk T, Allam S, Yan G. Quantification of error in optical coherence tomography central macular thickness in wet age-related macular degeneration. *Am J Ophthalmol* 2009;148: 90-6.
- Ray R, Stinnett SS, Jaffe GJ. Evaluation of image artifact produced by optical coherence tomography of retinal pathology. *Am J Ophthalmol* 2005;139:18-29.
- Sadda SR, Wu Z, Walsh AC, et al. Errors in retinal thickness measurements obtained by optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2006;113:285-93.
- Sadda SR, Joeres S, Wu Z, et al. Error correction and quantitative subanalysis of optical coherence tomography data using computer assisted grading. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007; 48:839-48.
- Domalpally A, Danis RP, Zhang B, et al. Quality issue in interpretation of optical coherence tomograms in macular diseases. *Retina* 2009;29:775-81.
- Fung AE, Lalwani GA, Rosenfeld PJ, et al. An optical coherence tomography-guided, variable dosing regimen with intravitreal ranibizumab (Lucentis) for neovascular age-related macular degeneration. *Am J Ophthalmol* 2007;143:566-83.
- Scott IU, Edwards AR, Beck RW, et al. A phase II randomized clinical trial of intravitreal bevacizumab for diabetic macular edema. *Ophthalmology* 2007;114:1860-7.
- Arevalo JF, Sanchez JG, Wu L, et al. Primary intravitreal bevacizumab for diffuse diabetic macular edema: the Pan-American Collaborative Retina Study Group at 24 months. *Ophthalmology* 2009;116:1488-97.
- Keane PA, Liakopoulos S, Jivrajka RV, et al. Evaluation of optical coherence tomography retinal thickness parameters for use in clinical trials for neovascular age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:3378-85.
- Costa RA, Calucci D, Skaf M, et al. Optical coherence tomography 3: automatic delineation of the outer neural boundary and its influence on retinal thickness measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:2399-406.
- Wojtkowski M, Bajraszewski T, Gorczyńska I, et al. Ophthalmic imaging by spectral optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2004;138:412-9.
- Wojtkowski M, Srinivasan V, Fujimoto JG, et al. Threedimensional retinal imaging with high-speed ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2005;112:1734-46.
- Schmidt-Erfurth U, Leitgeb RA, Michels S, et al. Threedimensional ultrahigh-resolution optical coherence tomography of macular diseases. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:3393-402.
- Alam S, Zawadzki RJ, Choi S, et al. Clinical application of rapid serial Fourier-domain optical coherence tomography for macular imaging. *Ophthalmology* 2006;113:1425-31.
- Ho J, Sull AC, Vuong LN, et al. Assessment of artifacts and reproducibility across spectral- and time-domain optical coherence tomography devices. *Ophthalmology* 2009;116:1960-70.
- Tappeiner C, Barthelmes D, Abegg MH, et al. Impact of optic media opacities and image compression on quantitative analysis of optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008; 49:1609-14.
- Kok PH, van Dijk HW, van den Berg TJ, Verbraak FD. A Model for the Effect of Disturbances in the Optical Media on the OCT Image Quality. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:787-92.
- 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.
- 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.

=ABSTRACT=

Analysis of Various Artifacts Produced by Spectral-Domain Optical Coherence Tomography Based on Macular Pathologies

Yong Woon Shin, MD, Ju Hyang Lee, MD, Jae Yeon Jun, MD, Yumi Song, MD,
Hee Yoon Cho, MD, Byung Ro Lee, MD

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

Purpose: To report the frequency, severity and various types of artifacts associated with spectral-domain optical coherence tomography (SD-OCT) based on macular pathologies.

Methods: Data was collected retrospectively from 116 eyes of 116 subjects. SD-OCT (3D-1000, Topcon Corp., Japan) imaging was performed in 40 healthy eyes, 45 eyes with intraretinal pathology (IRP) and 31 eyes with subretinal pathology (SRP). The scan protocol was 12×6 mm radial scan. The frequency and types of artifacts were investigated in each scan and were analyzed based on macular disease. Additionally, the effect of artifacts on the measurement of macular thickness was studied.

Results: Errors occurred in 77 eyes (66.38%). Inner retinal boundary misidentification (IRBM) was the most common error (25.86%), with the frequencies of other types of artifacts being 10.34% for off-center fixation, 15.52% for degraded image and 8.6% for outer retinal boundary misidentification (ORBM). The overall error rate of SD-OCT in the retinal pathology group was much higher than that in the normal group. Macular thickness was underestimated in the IRP group because the outer retinal boundary of the IRP group tended to be misidentified toward the inner retina ($p < 0.01$).

Conclusions: SD-OCT can frequently cause various types of artifacts in patients with macular disease. When interpreting OCT images, the artifacts of SD-OCT should be considered in order to obtain accurate macular thickness and to prevent erroneous clinical decisions.

J Korean Ophthalmol Soc 2010;51(8):1084-1091

Key Words: Artifact, Macular disease, Segmentation error, Spectral domain optical coherence tomography

Address reprint requests to **Byung Ro Lee, MD**

Department of Ophthalmology, Hanyang University Medical Center

#17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-070, Korea

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