

빛간섭단층촬영 영상의 분석 알고리즘에 따른 당뇨황반부종 측정치의 신뢰도 비교

Comparison of Reliability in Diabetic Macular Edema Estimates between Two Image Analysis Algorithms

계효정 · 배정훈 · 송수정

Hyo Jung Gye, MD, Jeong Hun Bae, MD, Su Jeong Song, MD, PhD

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Kangbuk Samsung Hospital, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To evaluate segmentation reliability in diabetic macular edema (DME) estimates between a Cirrus™ HD-OCT image analysis algorithm and an Iowa reference algorithm, which are an automatic segmentation software.

Methods: Thirty eyes from 23 patients diagnosed with DME were included and underwent spectral-domain optical coherence scans (Cirrus™ HD-OCT). Central foveal thickness (CFT) and ganglion cell layer-inner plexiform layer segmentation data were compared with those produced by the Cirrus™ HD-OCT segmentation algorithm and Iowa reference algorithm. Measurement agreement was assessed using intraclass correlation (ICC) and segmentation errors were confirmed by 2 ophthalmologists.

Results: The mean CFT in the 1-mm central area determined by the manufacturer-supplied Cirrus software and Iowa reference algorithm was $512.07 \pm 182.35 \mu\text{m}$ and $476.53 \pm 32.36 \mu\text{m}$, respectively ($p < 0.05$). The mean paired difference was $35.53 \pm 92.46 \mu\text{m}$ (ICC, 0.929). Segmentation errors were demonstrated in eyes with a CFT less than $400 \mu\text{m}$, specifically for 45% of scans obtained by the Cirrus algorithm and 9% from the Iowa algorithm; in eyes with a CFT equal to or higher than $400 \mu\text{m}$, the error rates were 95% and 42%, respectively.

Conclusions: CFT measurement in eyes with diabetic macular edema using the Cirrus algorithm and Iowa algorithm showed relatively high degrees of agreement and significant correlation. In eyes with a CFT equal to or higher than $400 \mu\text{m}$, the Iowa algorithm showed higher reliability in retinal segmentation than the Cirrus algorithm.

J Korean Ophthalmol Soc 2016;57(5):772-778

Keywords: Central foveal thickness, Diabetic macular edema, Optical coherence tomography, Reliability, Segmentation algorithm

당뇨황반부종이 있는 환자에서 중심망막두께는 치료 시작의 기준이자 치료 효과를 판정하는 중요한 지표가 되었으며,¹ 이것이 당뇨황반부종에서 시력과 관련이 있다는 것

은 이미 널리 알려진 바 있다.² 그러나 당뇨황반부종이 관해된 이후에도 시력이 감소하거나 망막두께가 증가했음에도 시력이 호전된 사례들이 보고되면서² 단순히 전체황반두께 변화 이외의 시력에 영향을 줄 수 있는 다른 요인들에 대해서도 관심이 증가되었다. 최근의 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영(spectral domain optical coherence tomography, SD OCT)은 높은 해상도와 더불어 자동화 소프트웨어를 통해 망막층을 세분화(segmentation)하여 각각의 망막층에 대한 측정이 가능하게 되었다.³ 이전의 연구에서 망막층의 세분화 분석을 통해 당뇨황반부종으로 유리체절제술을 받은

■ Received: 2015. 12. 3. ■ Revised: 2016. 2. 24.

■ Accepted: 2016. 4. 22.

■ Address reprint requests to **Su Jeong Song, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Kangbuk Samsung Hospital,
#29 Saemunan-ro, Jongno-gu, Seoul 03181, Korea
Tel: 82-2-2001-2250, Fax: 82-2-2001-2262
E-mail: eye-su@hanmail.net

© 2016 The Korean Ophthalmological Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

후 망막내층의 두께가 두껍거나 망막외층의 두께가 얇을수록 시력손상이 컸다고 보고된 바 있다.⁴ 또 다른 연구에서는 외경계막의 구조적 이상이 유의한 당뇨병반부종이 있는 환자에서 시력저하와 관련이 있을 것으로 보고한 바 있다.⁵⁻⁷ 이처럼 발전된 빛간섭단층촬영 기술을 통해 망막층의 정확한 세분화 분석이 당뇨병반부종의 임상 양상과 그 발생 기전에 대한 이해를 높일 수 있을 것으로 기대되고 있다.³

현재 임상적으로 쓰이고 있는 빛간섭단층촬영기는 망막 세부층의 경계를 설정하기 위한 각기 다른 제조사별 알고리즘을 탑재하고 있는데 이 때문에 망막 세부층의 측정치는 빛간섭단층촬영기의 하드웨어뿐만 아니라 망막층의 경계설정 분석 알고리즘에 따라서도 영향을 받을 수 있다.^{8,9} 특히 정상 중심와 형태를 잃어버린 경우, 현재 사용되고 있는 신경절세포층과 망막신경섬유층 경계분절 알고리즘은 정확도가 떨어질 가능성이 있어, 많은 연구들에서는 망막 세부층의 경계를 설정하기 위해 2차원 B-scan을 이용하여 수동으로 각 층의 경계를 지정하여 연구 결과를 발표하였다. 그러나 이러한 방법은 측정자 내 또는 측정자 간 오차를 초래하기 쉽고 재현이 어렵다는 점에서 임상적으로 보편적으로 사용되기는 힘들다. 본 연구에서 이용한 Iowa reference algorithm (version 3.1, <http://www.biomed-imaging.uiowa.edu/downloads>)은 임상적으로 상용화된 빛간섭단층촬영 기기로부터 획득한 영상을 이용하여 망막의 세부층을 분석할 수 있는 자동화된 3차원 망막 경계설정 소프트웨어(automatic 3-D segmentation software)인데, 이는 adaptive cost function을 이용한 3차원 그래프-추적 방식을 이용하여 정확한 10개 망막층의 개별 경계설정이 가능하다고 알려져 있다.¹⁰⁻¹² 또한 Iowa reference algorithm은 정상안에서는 물론 황반부 질환이 있는 경우에서도 높은 정확도를 나타내는 것으로 보고되었다. 이에 본 연구에서는 당뇨병반부종 환자에서 Iowa reference algorithm을 사용한 망막전층 및 신경절세포층과

망막신경섬유층 측정 결과를 확인하고, 이를 기존 Cirrus segmentation software의 결과와 비교하여 두 알고리즘 간의 중심와두께와 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계 설정 신뢰도(segmentation reliability)를 비교하고자 하였다.

대상과 방법

2012년 8월부터 2014년 4월까지 본원 안과에서 당뇨병반부종으로 진단 받고 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영을 시행 받은 환자 23명 30안을 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. 모든 환자는 시력검사, 안압검사, 세극등을 이용한 전안부검사, 안저검사 및 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영을 시행하였다.

스펙트럼영역 빛간섭단층촬영은 Cirrus™ High definition optical coherence tomography (HD-OCT) Model 4000 (Carl Zeiss Meditec Inc., Dublin, CA, USA)을 이용하였으며 512 × 128 Macular Cube scan 방식과 High-definition 5 line raster 방식으로 측정하였다. 중심와두께는 황반두께지도(macular thickness map)에서 중심와를 중심으로 직경 1 mm 이내의 중심원에서 측정된 망막두께를 분석하였으며 Cirrus에 내장된 segmentation software와 Iowa reference algorithm을 이용하여 각각의 영상에서 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계를 설정하였다(Fig. 1). Iowa reference algorithm은 고대비의 경계면을 인식하여 여러 망막층의 경계를 설정하며, 각 층의 두께는 내경계막(internal limiting membrane)의 경계면으로부터 각 경계면까지의 거리를 측정한 후 측정하고자 하는 망막층의 위아래 경계면까지의 거리 차이로 계산하게 된다. 예를 들어, 신경절세포층의 두께는 내경계막으로부터 신경절세포층-내망상층 경계까지의 거리에서 망막신경섬유층-신경절세포층 경계까지의 거리를 뺀 값이다. 본 연구에서는 신경절세포층과 내망상층

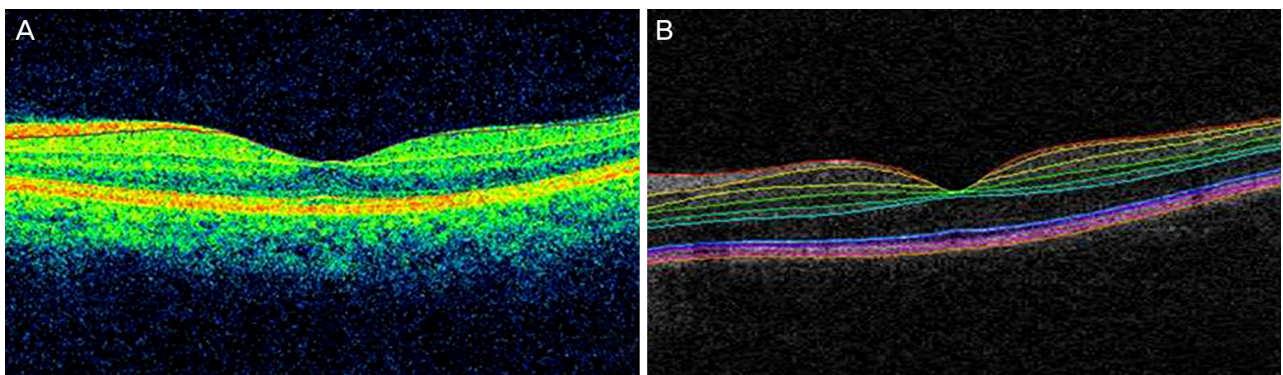


Figure 1. Representative automatic segmentation results for a normal eye. (A) Cirrus™ High definition optical coherence tomography (HD-OCT) segmentation of the ganglion cell layer (GCL) + inner plexiform layer (IPL) between the purple line and the yellow line. (B) Iowa algorithm segmentation of the GCL + IPL between the second surface (orange) and the third surface (yellow).

의 두께를 합친 값을 측정하였다.

신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류는 2명의 안과의사가 판독하였으며 임상적으로 유의한 오류는 황반두께의 10% 또는 50 μm 이상 차이가 있는 경우로 정의하였다.¹³ 또한 황반부종의 정도가 빛간섭단층촬영 측정치에 영향을 미치는지 알아보기 위해 두 알고리즘으로 측정한 중심와두께의 평균값이 400 μm 미만인 군과 400 μm 이상인 군으로 나누어 두 알고리즘 사이의 측정치를 비교하였다.^{14,15}

망막정맥폐쇄, 망막전막, 유리체황반변인 등의 황반두께를 증가시킬 수 있는 질환이 있는 경우, 각막혼탁과 백내장 등의 유의한 매체혼탁이 있는 경우, 기타 안구 내 다른 질

환이 있는 경우, 그리고 이전에 망막레이저광응고술 또는 안구 내 수술을 받은 경우는 대상에서 제외하였다.

통계적 분석은 PASW Statistics 18.0 (IBM, Armonk, New York, NY, USA)을 사용하였으며 Paired *t*-test와 Wilcoxon signed rank test를 이용하여 두 algorithms의 측정치를 비교하였다. 또한 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)와 Bland Altman plot을 측정하여 일치도를 평가하고 Pearson 상관계수를 통해 두 알고리즘 사이의 상관관계를 알아보았으며 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류의 빈도를 평가하였다. 모든 통계적인 유의성은 $p < 0.05$ 로 하였다.

Table 1. Demographics

	Total	Group 1*	Group 2†
Number of eyes (patients)	30 (23)	11 (11)	19 (12)
Sex (male:female)	14:16	4:7	10:9
Age (years)	59.10 \pm 12.24	56.55 \pm 13.02	60.58 \pm 11.88
Laterality (OD:OS)	18:12	8:3	10:9
Visual acuity (letters)	18.50 \pm 11.35	25.63 \pm 6.95	14.38 \pm 11.47

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.

*Group 1: Central foveal thickness (CFT) < 400 μm ; †Group 2: CFT \geq 400 μm .

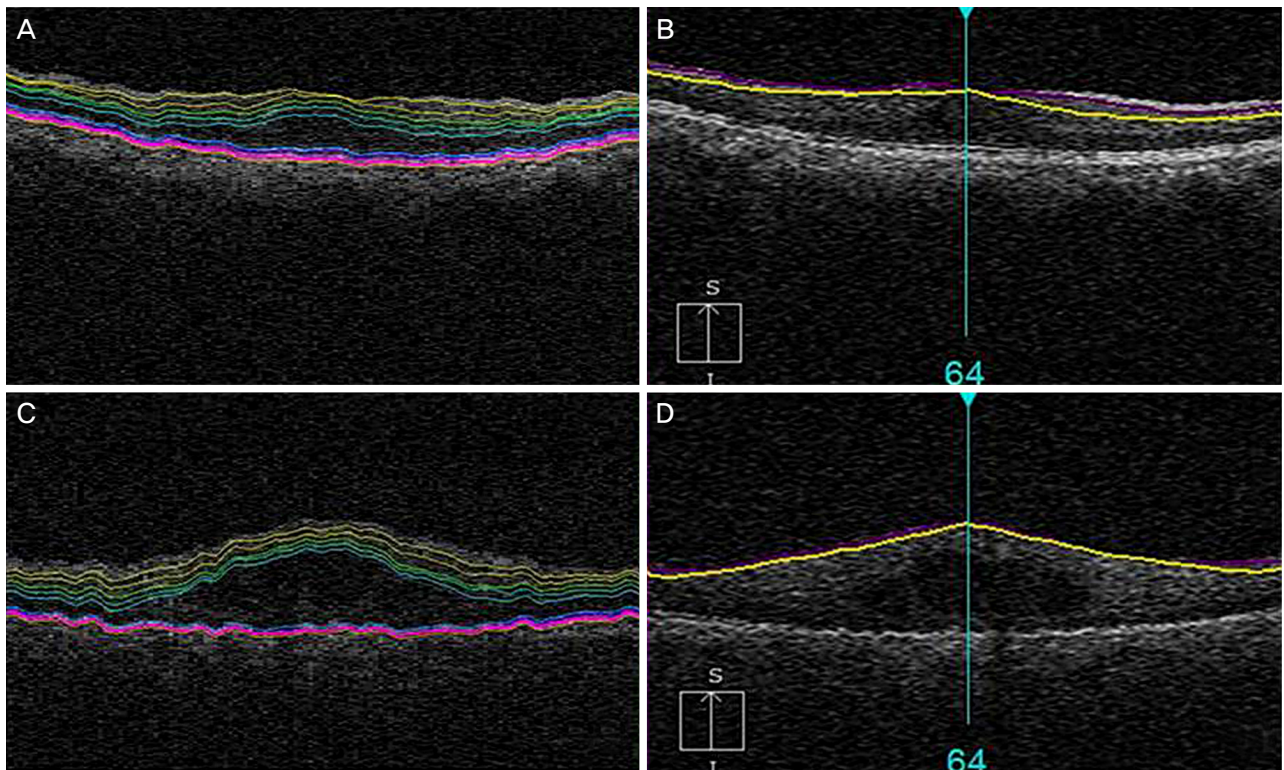


Figure 2. Automatic segmentation results for eyes with diabetic macular edema. (A, B) An eye with central foveal thickness (CFT) < 400 μm . (C, D) An eye with CFT \geq 400 μm . (A, C) Iowa reference algorithm segmentation image. (B, D) Cirrus segmentation image. (A, B) show the correct segmentation results for the two algorithms, while (C, D) show incorrect segmentation results for the Cirrus segmentation image.

결 과

대상안은 23명 30안으로 남자가 11명 14안, 여자가 12명 16안이었으며 평균 연령은 59.10 ± 12.24 세였다. 환자들의 인구학적, 안과적 특징들은 Table 1에 요약하였다. 중심와 두께가 $400 \mu\text{m}$ 미만인 그룹1에는 11안, $400 \mu\text{m}$ 이상인 그룹2에는 19안이 포함되었다(Table 1).

Fig. 2는 두 알고리즘을 이용하여 신경절세포층과 망막 신경섬유층의 경계설정을 실시한 결과를 보여주는 예이다. Fig. 2A와 Fig. 2B는 중심와두께가 $400 \mu\text{m}$ 미만인 한 예로 두 알고리즘 모두 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계(Fig. 2A에서의 주황선과 노랑선, Fig. 2B에서의 보라선과 노랑선)를 정확히 보여주고 있다. Fig. 2C와 Fig. 2D는 중심와두께가 $400 \mu\text{m}$ 이상인 한 예로 Iowa reference algorithm 분석결과는 정확히 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계를 나타내고 있으나 Cirrus software는 경계설정 오류를 보이고 있었다.

Cirrus에 내장된 software와 Iowa reference algorithm에 의해 측정된 중심와두께는 각각 평균 $512.07 \pm 182.35 \mu\text{m}$, $476.53 \pm 32.36 \mu\text{m}$ 였으며 Cirrus software의 중심와두께 측정치가 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.05$). 중심와두께

에 따른 비교에서 그룹1의 경우 두 알고리즘 사이의 중심와두께의 차이는 평균 $28.55 \pm 39.52 \mu\text{m}$ 로 Cirrus software 측정치가 통계적으로 유의하게 높았으며($p < 0.05$) 그룹2의 경우 평균 $39.58 \pm 113.40 \mu\text{m}$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p = 0.146$). 중심와두께에 대한 두 알고리즘 사이의 급내상관계수(ICC)는 0.929 (95% CI, 0.851-0.966)였다(Table 2).

두 알고리즘으로 측정한 중심와두께 사이의 일치도를 평가하기 위해 시행한 Bland-Altman plot에서 각각의 알고리즘으로 측정한 중심와두께 차이의 평균값은 $35.53 \mu\text{m}$ 였으며 95% 일치도 범위는 $-56.93 \mu\text{m}$ 에서 $127.99 \mu\text{m}$ 였다(Fig. 3). 두 알고리즘으로 측정한 중심와두께의 차이는 대부분 95% 신뢰구간 내에 들었으나, 2안은 신뢰구간을 벗어난 측정치를 보였다. 또한 Cirrus algorithm과 Iowa algorithm으로 측정한 중심와두께 측정값 사이의 상관관계를 알아보기 위한 Pearson 상관분석에서는 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다($\beta = 0.868$, $p < 0.001$) (Fig. 4).

신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류는 Cirrus software algorithm의 경우 전체 30안 중 23안(77%)에서 관찰되었으며 Iowa reference algorithm의 경우 전체

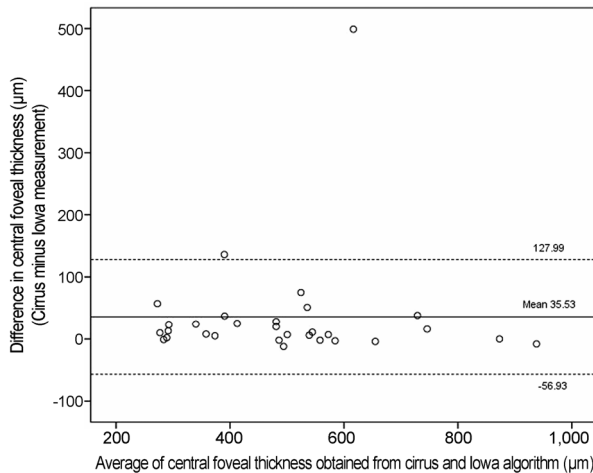


Figure 3. Bland-Altman plot for the Cirrus versus Iowa algorithm. The solid line indicates the average mean difference, whereas dotted lines delineate 95% confidence intervals.

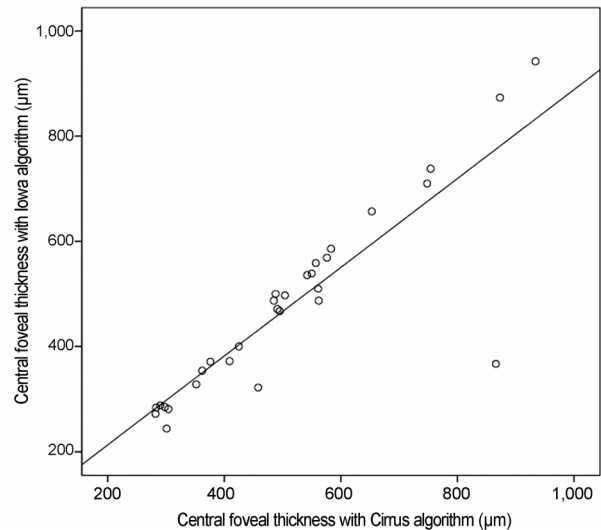


Figure 4. Scatterplots of central foveal thickness obtained with the Cirrus software algorithm and the Iowa reference algorithm (Pearson correlation $\beta = 0.868$, $p < 0.001$).

Table 2. Comparison of central foveal thicknesses (CFT) measured by the Cirrus algorithm and the Iowa algorithm

	Cirrus algorithm (μm)	Iowa algorithm (μm)	Mean paired difference (μm)	ICC (95% CI)
Total	512.07 ± 182.35	476.53 ± 177.22	35.53 ± 92.46	0.929 (0.851-0.966)
Group 1*	337.73 ± 58.52	309.18 ± 42.88	28.55 ± 39.52	0.826 (0.352-0.953)
Group 2†	613.00 ± 149.47	573.42 ± 150.18	39.58 ± 113.40	0.833 (0.566-0.936)

Values are presented as mean \pm SD unless otherwise indicated.

ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval.

*Group 1: CFT $< 400 \mu\text{m}$; †Group 2: CFT $\geq 400 \mu\text{m}$.

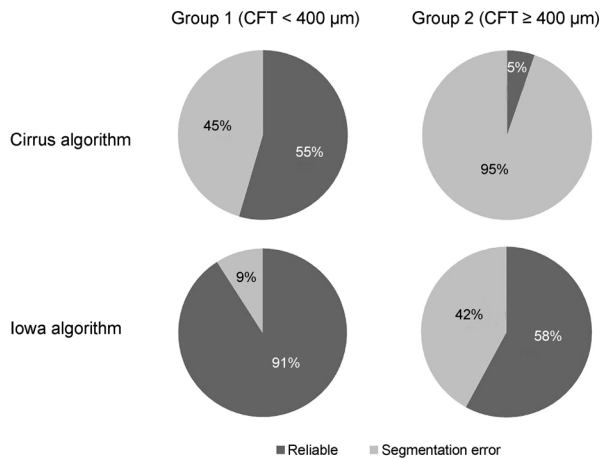


Figure 5. Proportion of segmentation errors obtained with the Cirrus software algorithm and Iowa reference algorithm. CFT = central foveal thickness.

30안 중 12안(40%)에서 관찰되었다. 중심와두께가 400 μm 미만인 그룹1의 경우 Cirrus software algorithm과 Iowa reference algorithm 측정치에서 각각 45%, 9%의 경계설정 오류가 나타났으며 중심와두께가 400 μm 이상인 그룹2에서는 각각 95%, 42%의 경계설정 오류를 보였다(Fig. 5).

고 찰

본 연구에서는 Iowa reference algorithm을 이용하여 빛간섭단층촬영 분석 알고리즘이 당뇨황반부종 측정치에 미치는 영향을 알아보고 Cirrus에 내장된 segmentation algorithm과 그 결과를 비교하였다. 당뇨황반부종에서 측정된 중심와두께는 Cirrus software algorithm의 측정치가 Iowa reference algorithm 측정치에 비해 유의하게 높았으나 두 알고리즘의 측정치는 비교적 높은 일치도와 유의한 상관관계를 보였다. 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류는 Cirrus software algorithm에서 더 빈번했으며, 특히 중심와두께가 400 μm 이상인 경우 Iowa reference algorithm에서 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 신뢰도가 더 높은 것으로 나타났다.

이전 연구^{16,17}에서 Cirrus segmentation algorithm과 Iowa reference algorithm은 당뇨황반부종의 측정치에 있어 높은 반복성과 신뢰도를 보였다고 보고된 바 있다. 본 연구에서는 Cirrus segmentation algorithm과 Iowa reference algorithm으로 측정된 당뇨황반부종 환자의 중심와두께 측정치가 차이를 보였다. 이는 망막두께 측정 시 알고리즘마다 설정된 망막외측 경계 기준의 차이에서 기인했다기보다는 망막층의 경계설정 오류가 영향을 미친 것으로 생각된다.

Bland-Altman plot과 Pearson 상관관계에서 두 알고리즘의 측정치는 비교적 높은 일치도와 유의한 상관관계를 보였으며 두 알고리즘으로 측정된 중심와두께의 차이는 대부분 95% 신뢰구간 내에 들었으나, 신뢰구간 밖으로 벗어난 측정치가 존재하였다. 95% 신뢰구간을 크게 벗어난 1안은 중심와두께가 866 μm였으며 Iowa reference algorithm에서 중심와두께 측정의 오류를 보였고 두 알고리즘에서 모두 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류를 보였다.

본 연구에서는 중심와두께에 따라 두 알고리즘 사이의 측정치를 비교하였는데 두 알고리즘으로 측정된 중심와두께의 차이값은 황반부종의 정도와 관련성을 보이지 않았으나 망막층의 경계설정오류의 빈도는 황반부종이 심한 군에서 더 큰 차이를 보였다. 이는 Matt et al¹⁸이 황반부종의 정도가 심할수록 부종의 기저층으로 전달되는 빛간섭단층촬영의 신호 강도가 낮아져 망막 경계설정의 오류가 증가한다고 보고한 것과도 일치하는 결과라고 할 수 있다. 특히 중심와두께가 400 μm 이상인 군에서는 두 알고리즘으로 측정된 중심와두께가 통계적으로 차이를 보이지 않았음에도 불구하고 망막층의 경계설정오류의 빈도는 큰 차이를 보였다. 이러한 결과는 빛간섭단층촬영의 결과를 해석함에 있어서 전체망막두께의 측정치뿐만 아니라 망막층의 경계설정 신뢰도 또한 고려되어야 함을 시사한다.

본 연구에서 Cirrus software의 경계설정오류의 빈도는 전체 30안 중 77%로 분지망막정맥폐쇄 환자들을 대상으로 한 이전의 연구에서 보고된 36.6%¹⁸나 나이관련황반변성 환자들을 대상으로 한 6%¹⁹에 비해 매우 높은 수치이다. 그러나 황반부를 침범한 질환이 서로 다르고 앞서 언급한 논문들에서는 내경계막과 망막색소상피층의 경계설정오류를 측정하였기 때문에 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류를 측정된 본 연구와의 직접적인 빈도 비교는 어려울 것으로 보인다. 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 신뢰도 비교에서는 Iowa reference algorithm에서 오류가 더 적은 것으로 나타났는데 이는 이전의 연구^{17,20}에서 Iowa reference algorithm이 3차원 데이터를 이용하여 망막층을 분석하고 경계를 설정함으로써 2차원 데이터를 이용하는 Spectral domain optical coherence tomography (SD-OCT)에 내장된 알고리즘과 비교하여 보다 높은 반복성 및 신뢰도를 나타내었다고 보고한 바와 일치하는 결과라고 할 수 있다. 또한 Iowa reference algorithm은 3차원 그래프-추적 방식을 적용하여 경계설정 오류가 발생하기 쉬운 망막 내 또는 망막하액이 축적되어 있는 경우에서도 비교적 정확한 망막층의 경계설정 결과를 보였다고 보고된 바 있다.¹² 이러한 결과는 경계설정 오류가 많이 발생할 수 있는 당뇨황반부종 환자에서 Iowa reference algorithm을 이용한 중

심와두께 분석이 정확한 진단 및 치료효과 판정에 도움이 될 수 있다는 점을 시사한다. 그러나 중심와두께가 400 μm 이상인 경우에는 두 알고리즘 모두 중심와두께가 400 μm 이하인 경우보다 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계 설정 신뢰도가 낮은 것으로 나타나 중심와두께가 두꺼운 환자에서는 특히 해석에 주의를 요할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 연구 대상자 수가 적다는 것이며 둘째, CirrusTM HD-OCT 이외의 다른 OCT 기기에서의 비교가 없다는 점, 마지막으로 각 알고리즘 측정치의 정확도를 위한 반복성 평가가 없었다는 점이 가장 큰 한계점이라고 할 수 있다. 추후 이에 대한 보완 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 본 연구에서 저자들은 Cirrus software algorithm과 Iowa reference algorithm으로 측정한 당뇨황반부종의 측정치 사이에 비교적 높은 일치도와 유의한 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다. 당뇨황반부종이 있는 경우 Iowa reference algorithm이 Cirrus software algorithm에 비해 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류가 더 적은 것으로 나타나 당뇨황반부종 환자에서 신경절세포층과 망막신경섬유층의 분석이 필요한 경우 이를 고려해야 할 것으로 생각된다. 단, 당뇨황반부종이 심한 경우에는 automatic segmentation 결과를 해석함에 있어 주의해야 할 것이다.

REFERENCES

- 1) Csaky KG, Richman EA, Ferris FL 3rd. Report from the NEI/FDA Ophthalmic Clinical Trial Design and Endpoints Symposium. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:479-89.
- 2) Diabetic Retinopathy Clinical Research Network, Browning DJ, Glassman AR, et al. Relationship between optical coherence tomography-measured central retinal thickness and visual acuity in diabetic macular edema. *Ophthalmology* 2007;114:525-36.
- 3) Murakami T, Yoshimura N. Structural changes in individual retinal layers in diabetic macular edema. *J Diabetes Res* 2013;2013: 920713.
- 4) Murakami T, Nishijima K, Akagi T, et al. Segmentational analysis of retinal thickness after vitrectomy in diabetic macular edema. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:6668-74.
- 5) Sakamoto A, Nishijima K, Kita M, et al. Association between foveal photoreceptor status and visual acuity after resolution of diabetic macular edema by pars plana vitrectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2009;247:1325-30.
- 6) Costa RA, Calucci D, Skaf M, et al. Optical coherence tomography 3: automatic delineation of the outer neural retinal boundary and its influence on retinal thickness measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:2399-406.
- 7) Otani T, Yamaguchi Y, Kishi S. Correlation between visual acuity and foveal microstructural changes in diabetic macular edema. *Retina* 2010;30:774-80.
- 8) Wolf-Schnurrbusch UE, Ceklic L, Brinkmann CK, et al. Macular thickness measurements in healthy eyes using six different optical coherence tomography instruments. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:3432-7.
- 9) Lammer J, Scholda C, Prunte C, et al. Retinal thickness and volume measurements in diabetic macular edema: a comparison of four optical coherence tomography systems. *Retina* 2011;31:48-55.
- 10) Quellec G, Lee K, Dolejsi M, et al. Three-dimensional analysis of retinal layer texture: identification of fluid-filled regions in SD-OCT of the macula. *IEEE Trans Med Imaging* 2010;29:1321-30.
- 11) Chen X, Niemeijer M, Zhang L, et al. Three-dimensional segmentation of fluid-associated abnormalities in retinal OCT: probability constrained graph-search-graph-cut. *IEEE Trans Med Imaging* 2012;31:1521-31.
- 12) Zhang L, Sonka M, Folk JC, et al. Quantifying disrupted outer retinal-subretinal layer in SD-OCT images in choroidal neovascularization. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55:2329-35.
- 13) Han IC, Jaffe GJ. Evaluation of artifacts associated with macular spectral-domain optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2010;117:1177-89.e4.
- 14) Vujosevic S, Martini F, Longhin E, et al. Subthreshold micropulse yellow laser versus subthreshold micropulse infrared laser in center-involving diabetic macular edema: morphologic and functional safety. *Retina* 2015;35:1594-603.
- 15) Wells JA, Glassman AR, Jampol LM, et al. Association of baseline visual acuity and retinal thickness with 1-year efficacy of aflibercept, bevacizumab, and ranibizumab for diabetic macular edema. *JAMA Ophthalmol* 2016;134:127-34.
- 16) Lee JY, Chiu SJ, Srinivasan PP, et al. Fully automatic software for retinal thickness in eyes with diabetic macular edema from images acquired by cirrus and spectralis systems. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:7595-602.
- 17) Sohn EH, Chen JJ, Lee K, et al. Reproducibility of diabetic macular edema estimates from SD-OCT is affected by the choice of image analysis algorithm. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:4184-8.
- 18) Matt G, Sacu S, Buehl W, et al. Comparison of retinal thickness values and segmentation performance of different OCT devices in acute branch retinal vein occlusion. *Eye (Lond)* 2011;25:511-8.
- 19) Mylonas G, Ahlers C, Malamos P, et al. Comparison of retinal thickness measurements and segmentation performance of four different spectral and time domain OCT devices in neovascular age-related macular degeneration. *Br J Ophthalmol* 2009;93:1453-60.
- 20) Garvin MK, Lee K, Burns TL, et al. Reproducibility of SD-OCT-based ganglion cell-layer thickness in glaucoma using two different segmentation algorithms. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:6998-7004.

= 국문초록 =

빛간섭단층촬영 영상의 분석 알고리즘에 따른 당뇨황반부종 측정치의 신뢰도 비교

목적: 당뇨황반부종에서 자동망막경계설정 소프트웨어(automatic segmentation software)인 Cirrus™ High definition optical coherence tomography (HD-OCT) segmentation algorithm과 Iowa reference algorithm을 이용하여 망막층의 경계설정 신뢰도를 비교하고자 하였다.

대상과 방법: Cirrus algorithm과 Iowa algorithm을 이용하여 당뇨황반부종 환자 23명(30안)의 중심와두께를 측정하고 망막층을 세분화하여 신뢰도를 비교하였다. 두 알고리즘의 일치도, 상관관계 및 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류빈도를 평가하였다.

결과: Cirrus software로 측정한 중심와두께는 평균 $512.07 \pm 182.35 \mu\text{m}$ 로 Iowa algorithm 측정치인 $476.53 \pm 32.36 \mu\text{m}$ 에 비해 유의하게 높았다($p < 0.05$). 두 알고리즘 측정치의 급내상관계수는 0.929였고 유의한 상관관계를 보였다($\beta = 0.868$, $p < 0.001$). 신경절세포층과 망막신경섬유층의 경계설정 오류빈도는 중심와두께가 $400 \mu\text{m}$ 미만인 경우 Cirrus algorithm과 Iowa algorithm에서 각각 45%, 9%였고 $400 \mu\text{m}$ 이상인 경우 95%, 42%였다.

결론: 당뇨황반부종에서 중심와두께는 Cirrus algorithm과 Iowa algorithm 사이에 비교적 높은 일치도와 유의한 상관관계를 보였으나, 신경절세포층과 망막신경섬유층 측정에 있어서는 두 알고리즘이 차이를 보였고, 특히 중심와두께가 $400 \mu\text{m}$ 이상인 경우 망막층의 경계설정 신뢰도는 Iowa algorithm에서 더 높았다.

〈대한안과학회지 2016;57(5):772-778〉
