

## 백내장 수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층 측정치의 변화

### Comparison of Ganglion Cell-Inner Plexiform Layer and Retinal Nerve Fiber Layer after Cataract Surgery

한영수 · 이 평 · 진경현

Young Soo Han, MD, Pyung Lee, MD, Kyung Hyun Jin, MD, PhD

경희대학교 의학전문대학원 경희의료원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Medical Center, Kyung Hee University School of Medicine, Seoul, Korea

**Purpose:** To observe the change in the measured thickness of ganglion cell-inner plexiform layer (GCIPL) and retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness before and after cataract surgery.

**Methods:** Forty-six eyes of 32 patients, scheduled to have cataract surgery, were imaged with spectral-domain optical coherence tomography (OCT) (Cirrus HD OCT) before and 5 weeks after the surgery to measure GCIPL and RNFL thickness repeatedly.

**Results:** All GCIPL and RNFL thickness parameters were significantly higher postoperatively compared with preoperative measurements ( $p < 0.001$ ). RNFL thickness changed more than GCIPL; the increased amount of mean RNFL thickness (14.16%) was higher than GCIPL thickness (7.36%;  $p < 0.001$ ). GCIPL and RNFL thicknesses and, GCIPL signal strength changes were significantly increased in all types of cataracts ( $p < 0.05$ ). RNFL signal strength change was significantly increased in posterior sub-capsular cataracts ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions:** Cataracts may affect GCIPL and RNFL thicknesses. After cataract surgery, GCIPL thickness, similar to the RNFL thickness, was increased significantly. As GCIPL thickness may be less affected by cataracts than RNFL thickness, GCIPL thickness may be a more meaningful indicator for the diagnosis of glaucoma with cataract.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(4):485-493

**Key Words:** Cataract surgery, Ganglion cell-inner plexiform layer, Glaucoma diagnosis, Optical coherence tomography

빛간섭단층촬영은 비침습적인 방법으로 실시간으로 생체 조직의 이미지를 얻고 마이크로 단위로 생체조직을 측

정할 수 있다.<sup>1</sup> 이러한 빛간섭단층촬영은 망막신경섬유층 두께와 시신경 유두, 망막을 측정하는 이미지 도구로 널리 사용하고 있다. 해상도와 재현성이 높아서 다양한 망막 질환, 녹내장성 변화의 진단에 유용하게 쓰이고 있다.<sup>2,3</sup>

녹내장은 시신경 질환으로 병리학적으로 망막신경절 세포체(Retinal ganglion cell body), 수상돌기(dendrite) 그리고 축삭(axon)의 사멸이 특징적이다.<sup>4</sup> 이들 세 부분은 각각 신경절층(ganglion cell layer), 내망상층(inner plexiform layer), 망막신경섬유층(retinal nerve fiber layer)에 해당한다. 녹내장에서 기능적인 시야 결손이 생기기 전 망막신경절 세포의 형태학적 변화가 선행하는데 빛간섭단층촬영의 출

■ Received: 2014. 8. 14.      ■ Revised: 2014. 10. 8.

■ Accepted: 2015. 3. 7.

■ Address reprint requests to **Kyung Hyun Jin, MD, PhD**  
Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Medical Center, #23 Kyungheedaero, Dongdaemun-gu, Seoul 130-872, Korea  
Tel: 82-2-958-8451, Fax: 82-2-966-7340  
E-mail: khjinmd@khmc.or.kr

\* This study was presented as an e-poster at the 111th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2014.

© 2015 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.

현으로 망막신경절 세포의 축삭에 해당하는 망막신경섬유층(시신경유두 주위)의 두께를 정량화하였고 이는 초기 녹내장성 손상과 녹내장 진행을 발견하는 데 유용한 지표로 이용하고 있다.<sup>5</sup> 녹내장의 병리는 망막신경절 세포의 세포체(cell body)와 수상돌기(dendrite)의 사멸도 포함하기 때문에 망막신경절의 축삭만큼 이들의 변화가 중요하다. 빛간섭단층촬영 기계인 RTVue-100 (Optvue Inc., Fremont, CA, USA)으로 황반부의 신경절세포층, 내망상층, 망막신경섬유층의 세층을 합친 신경절세포 복합층(ganglion cell complex layer)의 측정이 가능해졌으며, 황반부 신경절세포복합층은 망막신경섬유층만큼 녹내장 진단 지표로서 동등하다고 알려졌다.<sup>6</sup> 최근 Cirrus HD OCT (Cirrus; Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)의 ganglion cell analysis (GCA) 알고리즘에서 황반부의 망막신경섬유층을 제외한 신경절세포-내망상층의 측정을 가능하게 하였다. 신경절세포-내망상층 또한 시신경유두 주위 망막신경섬유층만큼 녹내장 진단 지표로서 유용하여 최근 활발히 연구되고 있다.<sup>7-9</sup>

빛간섭단층촬영은 근적외선과 빛의 간섭에 기초하기 때문에 동공크기, 백내장, 건선안 등에 의해 이미지의 질과 측정의 재현성이 영향을 받는다.<sup>10,11</sup> 특히, 백내장은 빛간섭단층촬영의 질에 대표적인 영향을 주는 인자로 빛의 산란을 야기하여 이미지 질을 저하시킨다.<sup>10</sup> 기존 연구들에서는 백내장 수술 전에 비해 수술 후에 황반부 두께와<sup>12-14</sup> 시신경섬유 두께의 측정치가<sup>1,15</sup> 약간 증가한다고 보고하고 있다. 신경절세포 복합층에 대해서도 백내장 수술 후 두께가 약간 증가된다고 보고되었으나<sup>16</sup> 백내장 수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층의 측정치 변화에 대해서는 연구된 적은 없다. 본 연구에서는 백내장 수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 신호강도 및 측정된 두께의 변화를 알아보고, 백내장의 유형에 따른 변화를 분석하였다.

## 대상과 방법

2013년 11월부터 2014년 5월까지 본원에서 백내장 수술을 받은 32명, 46안을 대상으로 하였다. 전향적 연구로 백내장 수술 예정인 환자를 대상으로 각막혼탁, 약시, 녹내장, 시신경 질환, 유리체 혼탁, 당뇨병 망막병증이나 망막변성 등 망막 질환, 5디오퍼 이상의 굴절이상, 2디오퍼 이상의 난시가 있는 환자는 대상군에서 제외시켰다.

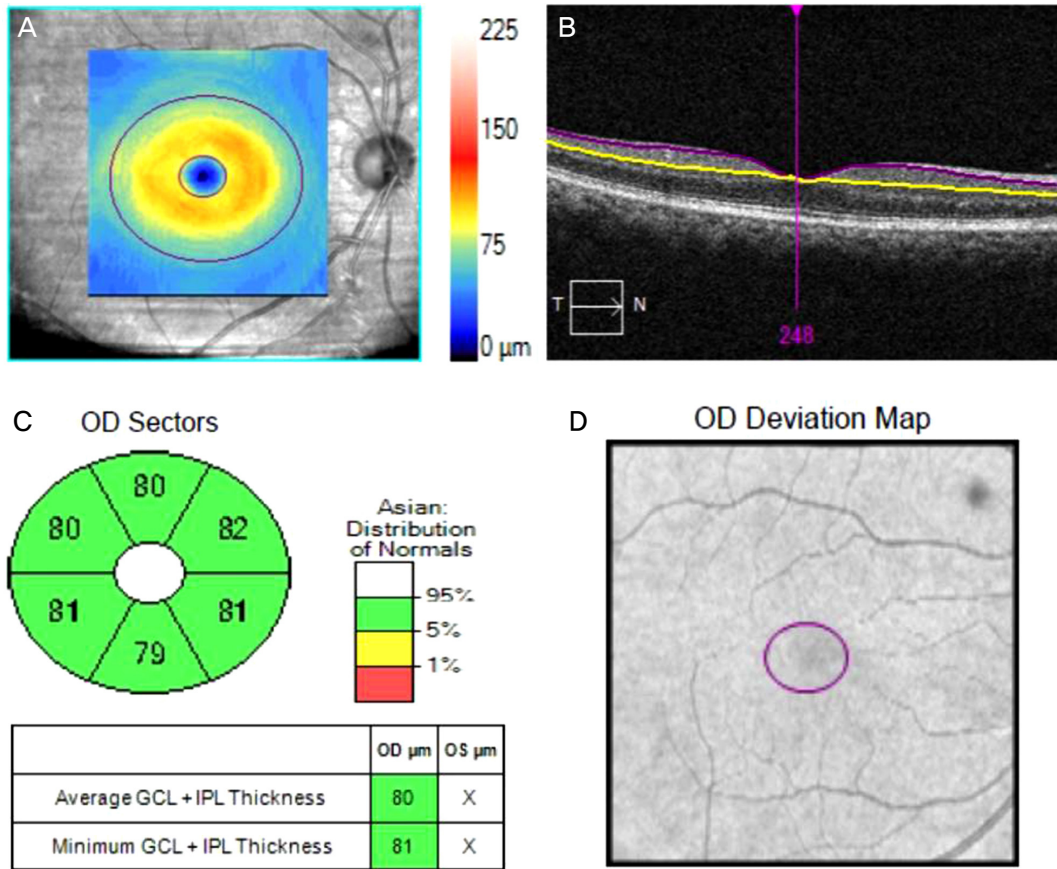
백내장은 동공확대 후 세극등 검사로 진단하였고 백내장 유형은 Lens Opacification Classification System III (LOCS III)을 이용하여 가장 높은 점수에 따라 핵형(nuclear, N), 피질형(cortical, C), 후낭형(posterior subcapsular, P)으로 분류

하였다. 만약 NO3-NC3 초과이고, C3 미만, P3 미만이면 핵형으로 분류하였고 만약 C3 이상이면 피질형, P3 이상이면 후낭형으로 분류하였다. NO3-NC3 이하에서는 가장 높은 정도의 피질형 또는 후낭형으로 유형을 분류하였다.<sup>10</sup>

백내장 수술은 한 명의 술자에 의해 시행되었고, 국소점안마취(0.5% proparacaine hydrochloride [Alcaine<sup>®</sup>, Alcon, Fort Worth, TX, USA]) 후 2.75 mm 각막 절개도를 이용하여 이측에 투명각막 절개창을 만들었다. 수술 중 전방 유지 및 내피세포 보호를 위하여 점탄 물질을 주입한 후 수정체 낭원형절개를 시행하고 평형 용액을 사용하여 수력분리술 및 수력분층술을 시행하였다. Infinite 시스템(Alcon, Fort Worth, TX, USA)을 이용하여 초음파를 이용한 수정체 유화술로 수정체 핵을 제거하고, 관류흡입기로 수정체 피질을 제거하였다. 인공수정체는 비구면 인공수정체인 AcrySof IQ SN60WF (Alcon Laboratories, INC., Fort Worth, TX, USA), TECNIS ZCB00 (AMO Inc., Santa Ana, CA, USA), Akreos MI60 (Bausch & Lomb, Inc., Rochester, NY, USA)의 세 종류 중 하나를 선택하여 수정체 낭에 삽입하였다. 수술 중 후낭파열, 유리체 소실, 섬모체 소대용해 등 합병증이 있는 경우는 연구에서 제외하였다. 수술 후 Moxifloxacin 0.5% (Vigamox<sup>®</sup>, Alcon, Fort Worth, TX, USA)와 0.1% Fluorometholone (Ocumetholone<sup>®</sup>, Samil Pharmaceutical Co. Ltd., Seoul, Korea)을 한 달간 사용하였다. 인공수정체 도수는 SRK-II공식을 이용하여 정시에 가까운 근시를 목표로 하여 설정하였다.

모든 환자는 수술 전, 수술 후 1일, 1주, 5주째에 기본적인 진료를 받았으며, 연구를 위한 검사는 수술 전, 수술 후 5주째에 시행하였다. 연구를 위한 검사로 수술 전 백내장 상태, 수술 전후 안압, 시력, 전안부 세극등 검사, 안저 검사, 황반부 신경절 세포-내망상층, 시신경유두 주위 망막신경섬유층 두께를 측정하였다.

빛간섭단층촬영은 산동 후 한 명의 검사자가 Cirrus HD OCT (Carl Zeiss Meditec, Inc., Dublin, CA, USA)로 한 개의 황반부(Macular Cube 200x200 protocol)와 한 개의 시신경 유두(Optic Disc Cube 200x200 protocol)를 각 눈당 2회씩 측정하였다. 좋은 질의 영상을 얻기 위해 신호강도 6 이상만 포함시켰고, 분할(segmentation) 오류, 이미지의 왜곡이나 끊어짐이 있는 경우, 비자발적인 깜박임이 있는 경우는 연구에서 제외하였다. GCA 알고리즘은 Cirrus OCT 6.0 software에 장착된 것으로 중심과 주변 14.13 mm<sup>2</sup> 면적의 타원형 부분의 황반부 신경절세포-내망상층(GCIPL) 두께를 측정하는 것이다. 타원형의 크기와 모양은 실제 해부학 부분과 거의 비슷하며 이 부분은 정상안에서 망막신경절세포의 가장 두꺼운 영역이다.<sup>5,8</sup> GCA 알고리즘은 macular cube



**Figure 1.** Cirrus HD-OCT images of the macula of the right eye. (A) GCIPL thickness maps (the denser the orange/yellow ring, the thicker the GCIPL) (B) Boundary lines drawn to measure GCIPL thickness. The purple line indicates the boundary between the RNFL and GCL. And the yellow line indicates the boundary between the IPL and INL. (C) GCIPL division map. The significance map shows (clockwise) thickness of the superior, superonasal, inferonasal, inferior, inferotemporal, and superotemporal sectors of the annulus and the average and minimum GCIPL (box) (D) GCIPL deviation map. GCIPL = ganglion cell-inner plexiform layer; RNFL = retinal nerve fiber layer; HD-OCT = high definition-OCT; GCL = ganglion cell layer; IPL = inner plexiform layer; INL = inner nuclear layer.

200×200 scan로 생성된 3차원적 데이터에 기초하여 자동적으로 황반부 신경절세포-내망상층을 세분화(segmentation)한다. 즉 이 알고리즘은 자동적으로 황반 부위에서 망막시신경섬유층의 바깥경계와 내망상층 바깥경계를 세분화시키고, 이 세분화된 층은 신경절세포와 내망상층의 합쳐진 두께를 산출한다. 황반부 신경절세포-내망상층의 두께는 평균값과 6개의 영역(상이측, 상측, 상비측, 하비측, 하측, 하이측)으로 측정된다. 시신경 유두와 망막시신경섬유층 알고리즘은 Cirrus HD OCT에서 사용된 지 오래된 것으로 망막시신경섬유층에 대해서 평균값과 4구역(상측, 하측, 비측, 이측)으로 나누어서 두께를 측정한다(Fig. 1, 2).

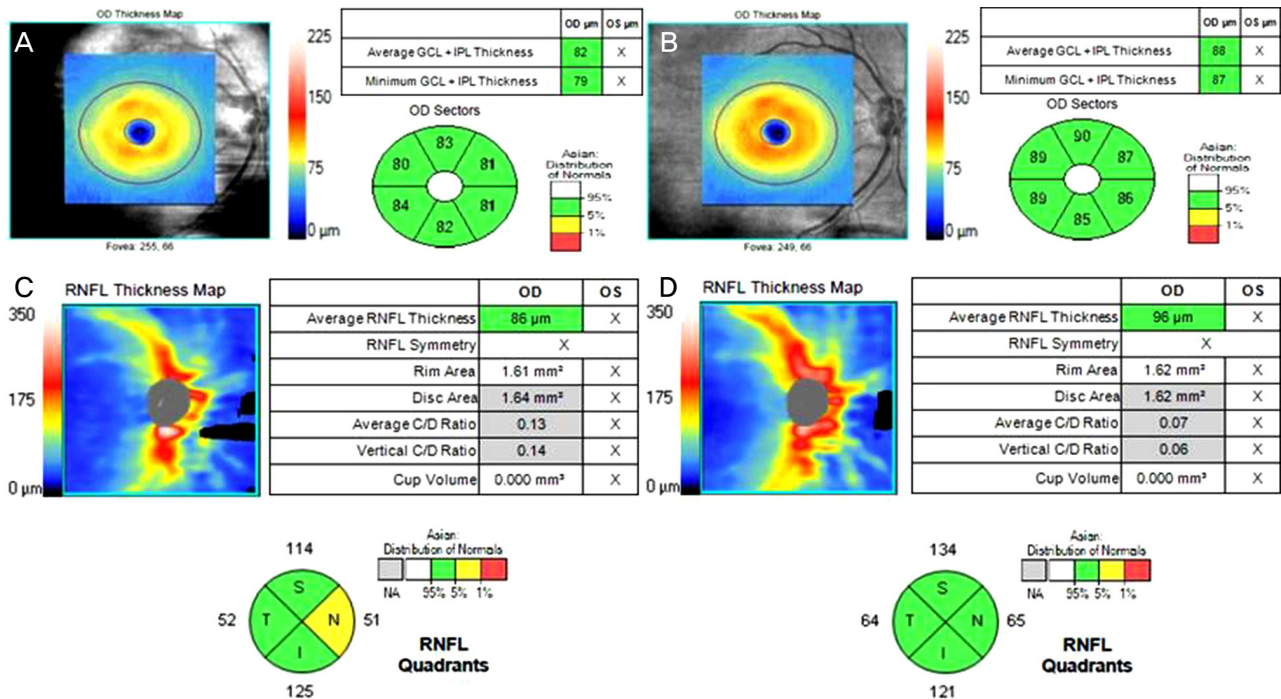
통계 분석은 SPSS 18.0 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였다. 통계학적 방법으로는 수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막시신경섬유층의 변화와 수술 전후 두 군의 증가량 비교에 대해서 paired *t*-test를 이용하였고,

백내장 유형별 비교하기 위해서 Wilcoxon's signed-ranks test를 이용하였다.

## 결 과

대상자는 남자 10명, 여자 22명으로 총 32명, 46안이었고 평균 연령은  $65.5 \pm 8.9$ 세였다. 술후 굴절이상의 평균 절대값 디옵터는  $0.46 \pm 0.25$ , 술전 평균 시력(logMAR)은  $0.29 \pm 0.30$ , 술후 평균 시력(logMAR)은  $0.06 \pm 0.09$ 이었다. 피질 백내장은 22안, 핵형 백내장은 13안, 후낭형 백내장은 11안이었으며 수술 후 검사까지 걸린 시간은  $39.8 \pm 12.4$ 일이었고, 평균 안축장은  $23.55 \pm 0.96$  mm이었으며, 수술 후 낭포성 황반부종과 segmentation error는 없었다(Table 1).

백내장 수술 후 황반부 신경절세포-내망상층(GCIPL)과 망막시신경섬유층(RNFL)의 빛간섭단층촬영의 신호강도는



**Figure 2.** GCIP and RNFL thickness measurement before (A) and after (B) cataract surgery. RNFL thickness measurement before (C) and after (D) cataract surgery. After cataract surgery, both GCIP and RNFL thickness were increased. GCIP thickness was less changed than RNFL. GCIP = ganglion cell-inner plexiform layer; RNFL = retinal nerve fiber layer; GCL = ganglion cell layer; IPL = inner plexiform layer; C/D = cup/disc; N = nasal; S = superior; T = temporal; I = inferior.

**Table 1.** Clinical characteristics of study participants

Numbers (eyes:patients)	46:32
Age (years)	65.53 $\pm$ 8.95
Sex (M:F)	10:22
Eye (right:left:both)	10:8:14
IOL (IQ:ZCB00:MI60)	13:22:11
Diabetes mellitus (yes:no)	9:23
Hypertension (yes:no)	12:20
Preoperative IOP (mm Hg)	13.38 $\pm$ 3.39
Postoperative IOP (mm Hg)	11.17 $\pm$ 2.96
Postoperative absolute RE (diopter)	0.46 $\pm$ 0.25
Preoperative BCVA (log MAR)	0.29 $\pm$ 0.30
Postoperative BCVA (log MAR)	0.06 $\pm$ 0.09
Types of lens opacities (cortical:nuclear:posterior)	22:13:11
Follow up (days)	39.80 $\pm$ 12.44
Axial length (mm)	23.55 $\pm$ 0.96

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated.  
IOL = intra ocular lens; IOP = intraocular pressure; RE = refractive equivalent; BCVA = best corrected visual acuity.

GCIPL은  $7.7 \pm 1.2$ 에서  $8.8 \pm 1.0$ , RNFL은  $6.9 \pm 0.9$ 에서  $7.9 \pm 1.0$ 로 각각 유의하게 증가하였다( $p < 0.001$ ). 수술 후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 두께는 정도의 차이는 있지만 평균 두께는 GCIPL은  $76.5 \pm 9.4$ 에서  $83.5 \pm 6.4$ 로 RNFL은  $87.9 \pm 7.9$ 에서  $100.4 \pm 10.2$ 로 유의 있게 증가했으며 나머지 모든 구역에서도 유의하게 증

가하였다( $p < 0.001$ ) (Table 2).

황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 수술 전 신호강도(Signal strength)는 황반부 신경절세포-내망상층은  $7.7 \pm 1.2$ , 망막신경섬유층은  $6.9 \pm 0.9$ 로 황반부 신경절세포-내망상층이 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.001$ ). 수술 후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 신호강도 평균 증가량은 각각 17.94%, 15.49%이었으며, 두 군 간 유의한 차이는 없었다( $p = 0.451$ ). 수술 후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 평균(average) 두께 증가량 평균은 각각 7.36%, 14.16%로 황반부 신경절세포-내망상층의 증가량이 적었다( $p < 0.001$ ) (Table 3).

백내장 유형별로 수술 전후 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 신호강도 및 두께 변화를 분석하였을 때 후낭형 백내장은 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 신호강도 및 두께 변화에서 모두 유의하게 증가했으나( $p < 0.05$ ), 피질형 백내장과 핵형 백내장은 망막신경섬유층의 신호강도 변화( $p = 0.081$ ,  $p = 0.11$ )에서는 유의하지 않았다 (Table 4).

수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 신호 강도(Signal strength) 변화와 관련된 변수를 분석하였을 때 두 층 모두 수술 전 신호강도가 낮을수록 신호강도의 변화가 유의하게 컸으며(GCIPL SS change:  $r = -0.725$ ,

**Table 2.** Preoperative and postoperative GCIPL and RNFL measurements in eyes

	Before surgery	After surgery	Change rate (%)	p-value
<b>GCIPL parameters</b>				
SS	7.7 ± 1.2	8.8 ± 1.0	17.9 ± 20.0	<0.001
Average (μm)	76.5 ± 9.4	83.5 ± 6.4	7.4 ± 4.0	<0.001
Superotemporal (μm)	77.0 ± 9.0	84.6 ± 8.8	8.6 ± 9.3	<0.001
Superior (μm)	77.4 ± 9.4	84.0 ± 6.4	7.1 ± 4.6	<0.001
Superonasal (μm)	78.4 ± 11.0	85.7 ± 6.8	7.3 ± 4.6	<0.001
Inferonasal (μm)	75.6 ± 10.7	82.1 ± 6.4	7.0 ± 7.1	<0.001
Inferior (μm)	73.5 ± 10.3	78.8 ± 8.2	5.0 ± 5.1	<0.001
Inferotemporal (μm)	76.8 ± 9.3	84.5 ± 7.6	8.3 ± 8.4	<0.001
<b>RNFL parameters</b>				
SS	6.9 ± 1.0	7.9 ± 1.0	15.5 ± 20.3	<0.001
Average (μm)	87.9 ± 7.9	100.4 ± 10.2	14.2 ± 7.2	<0.001
Superior (μm)	111.5 ± 13.9	127.7 ± 17.4	14.6 ± 8.3	<0.001
Nasal (μm)	62.9 ± 8.1	72.9 ± 9.0	16.5 ± 12.9	<0.001
Inferior (μm)	112.9 ± 14.2	127.0 ± 16.6	12.6 ± 7.9	<0.001
Temporal (μm)	64.2 ± 9.5	73.7 ± 10.5	15.6 ± 11.6	<0.001

Values are presented as mean ± SD.

GCIPL = ganglion cell-inner plexiform layer; RNFL = retinal nerve fiber layer; SS = signal strength.

**Table 3.** Comparison between GCIPL and RNFL measurements in eyes

	GCIPL	RNFL	p-value
Preoperative signal strength	7.7 ± 1.2	6.9 ± 0.9	<0.001
Average postoperative signal strength change (%)	17.9 ± 20.0	15.5 ± 20.3	0.451
Average postoperative thickness change (%)	7.4 ± 4.0	14.2 ± 7.2	<0.001

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

GCIPL = ganglion cell-inner plexiform layer; RNFL = retinal nerve fiber layer.

**Table 4.** Mean and standard deviation (SD) of SS, average GCIPL and RNFL thickness analysis in types of cataract

	Before surgery	After surgery	Change rate (%)	p-value
<b>Coritcal (n = 22)</b>				
SS GCIPL	7.6 ± 1.2	8.8 ± 1.0	19.0 ± 22.4	<0.05
Average GCIPL (μm)	78.2 ± 5.5	84.2 ± 6.1	8.5 ± 3.2	<0.05
SS RNFL	6.9 ± 0.9	7.8 ± 1.0	9.4 ± 20.6	0.081
Average RNFL (μm)	87.6 ± 7.8	100.2 ± 9.9	15.6 ± 6.6	<0.05
<b>Nuclear (n = 13)</b>				
SS GCIPL	7.8 ± 1.2	8.9 ± 1.0	11.5 ± 9.9	<0.05
Average GCIPL (μm)	78.3 ± 5.8	83.6 ± 6.8	6.0 ± 4.1	<0.05
SS RNFL	6.9 ± 0.9	7.9 ± 1.0	18.2 ± 20.2	0.11
Average RNFL (μm)	87.8 ± 8.2	99.2 ± 10.0	14.3 ± 8.0	<0.05
<b>Post subcapsular (n = 11)</b>				
SS GCIPL	7.8 ± 1.1	8.9 ± 1.0	24.2 ± 23.7	<0.05
Average GCIPL (μm)	79.1 ± 5.2	84.4 ± 6.4	6.7 ± 4.8	<0.05
SS RNFL	7.0 ± 0.9	8.0 ± 1.0	24.0 ± 17.2	<0.05
Average RNFL (μm)	88.3 ± 7.8	99.8 ± 10.0	11.2 ± 7.3	<0.05

Values are presented as mean ± SD.

GCIPL = ganglion cell-inner plexiform layer; RNFL = retinal nerve fiber layer; SS = signal strength.

$p < 0.001$ ; RNFL SS change:  $r = -0.652$ ,  $p < 0.001$ ) 황반부 신경절세포-내망상층의 신호강도 변화는 안축장(axial length)과 음의 상관관계( $r = -0.317$ ,  $p = 0.039$ ), 술전 안압과 양의 상관관계( $r = 0.362$ ,  $p = 0.017$ )를 나타냈으며, 그 외 나머지 변수들은 유의한 영향을 미치지 않았다(Table 5).

수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 두께 변화와 관련된 변수를 분석하였을 때 두 층 모두 술전 안압(GCIPL thickness change:  $r = -0.344$ ,  $p = 0.024$ ; RNFL thickness change:  $r = -0.472$ ,  $p = 0.003$ )과 술후 안압(GCIPL thickness change:  $r = -0.312$ ,  $p = 0.041$ ; RNFL thick-

**Table 5.** Pearson correlation between change in signal strength (GCIPL, RNFL) and other factors

Variables	Change in GCIPL signal strength		Change in RNFL signal strength	
	r	p-value	r	p-value
Age (years)	0.046	0.770	-0.133	0.394
Preoperative VA (log MAR)	0.004	0.981	-0.139	0.375
Preoperative SS	-0.725	<0.001	-0.652	<0.001
Axial length	-0.317	0.039	-0.175	0.263
Preoperative IOP	0.362	0.017	0.273	0.076
Postoperative IOP	0.204	0.190	0.196	0.207
IOP change	-0.179	0.251	-0.096	0.540

GCIPL = ganglion cell-inner plexiform layer; RNFL = retinal nerve fiber layer; VA = best corrected visual acuity; SS = signal strength; IOP = intraocular pressure.

**Table 6.** Pearson correlation between change in average thickness measurement (GCIPL, RNFL) and other factors

Variables	Change in average GCIPL thickness		Change in average RNFL thickness	
	r	p-value	r	p-value
Age (years)	-0.231	0.137	-0.255	0.099
Preoperative VA (log MAR)	0.319	0.037	0.050	0.749
Preoperative SS	-0.308	0.044	-0.152	0.332
SS change	-0.027	0.866	-0.007	0.967
Preoperative average thickness	-0.104	0.507	-0.196	0.209
Axial length	0.156	0.318	0.216	0.165
Preoperative IOP	-0.344	0.024	-0.472	0.003
Postoperative IOP	-0.312	0.041	-0.540	0.010
IOP change	0.062	0.694	-0.017	0.914

GCIPL = ganglion cell-inner plexiform layer; RNFL = retinal nerve fiber layer; VA = best corrected visual acuity; SS = signal strength; IOP = intraocular pressure.

ness change:  $r=-0.540$ ,  $p=0.010$ )이 낮을수록 두께가 유의있게 컸으며, 황반부 신경절세포-내망상층의 두께 변화는 술전 logMAR 시력과 양의 상관관계( $r=0.319$ ,  $p=0.037$ ), 술전 신호강도와 음의 상관관계( $r=-0.308$ ,  $p=0.044$ )를 나타내었고, 그 외 나머지 변수들은 유의한 영향을 미치지 않았다 (Table 6).

## 고 찰

녹내장은 진행성 시신경 질환으로 기능적인 시야 손상보다 구조적인 손상, 즉 시신경유두와 망막신경섬유층의 변화가 선행된다고 알려졌다.<sup>17</sup> 녹내장에서 구조적 평가를 하기 위해 전통적으로는 검안경, 세극등 검사를 이용한 시신경 유두 검사, 시신경유두 사진촬영, 망막신경섬유층 촬영을 이용하였으나 주관적이며 관찰자 간 차이가 있기 때문에 제한점이 있었다. 주사 레이저 편광측정기(Scanning laser polarimetry, GDx)와 빛간섭단층촬영기(Optical coherence tomography, OCT)를 이용한 시신경 유두와 망막신경섬유층의 측정은 객관적인 방법으로 녹내장 조기 평가 및 진행을 파악할 수 있어 임상에서 유용하게 사용하고 있다.<sup>18</sup> 최근에 도입된 신경절세포-내망상층 두께 측정은 녹내장 측정 지표로서 망막신경섬유층과 비슷한 녹내장 진단 능력이

있으며<sup>7,8</sup> 망막신경섬유층과 같이 사용했을 때는 초기 녹내장 진단률을 더 높일 수 있어 최근 활발히 연구되고 있다.<sup>18</sup>

OCT에서의 신호강도(signal strength)는 빛간섭단층촬영 시 이미지 질의 지표로서 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)와 이미지 스캔 내 신호의 균일성을 통합한 것이다. 신호강도의 범위는 1에서부터 10으로 1은 가장 낮은 이미지 질이고 10은 가장 높은 이미지 질을 나타낸다.<sup>19</sup> 빛간섭단층촬영 시 이미지 질이 받아들여질 수 있는 적정 신호강도를 OCT 제작사에서는 적어도 5 이상이라 하였고 몇몇 연구에 따르면 적어도 6 이상이어야 결과를 신뢰할 수 있다 하였다.<sup>20</sup> 왜냐하면 낮은 신호강도는 망막신경섬유층 두께, 황반부 두께를 실제보다 낮게 측정할 수 있기 때문이다.<sup>12,21</sup> 특히, 망막신경섬유층 두께, 그리고 새로운 녹내장 진단 지표인 신경절세포-내망상층 두께는 녹내장의 장기간 경과관찰에서 녹내장 진행여부를 파악해야 하기 때문에 측정 시 높은 신호강도 그리고 유사한 신호강도로 측정하는 것이 매우 중요하다.

고령 비율이 높은 녹내장 환자에서 백내장이 동반되어 있는 것은 흔한 일이다. 빛간섭 단층촬영에서 백내장은 이미지의 질을 저하시키는 대표적인 인자로 백내장에 의한 측정 두께 변화에 대해 망막전층, 망막신경섬유층, 최근의 신경절세포 복합층까지 연구된 바 있으며 대부분의 연구

결과에서 백내장 수술 후 황반부, 망막신경섬유층, 신경절 세포 복합층 모두 두께 측정치가 증가되는 것으로 나타났다.<sup>1,12-14,16</sup> 문헌 검색상 현재까지 백내장 수술 후 빛간섭단층촬영에서 신경절세포-내망상층 두께의 변화는 연구된 바 없었으며 백내장 수술 전후 OCT로 측정한 황반 두께,<sup>12</sup> OCT로 측정한 신호강도와 망막신경섬유층에 대한 백내장 및 제거 후의 영향,<sup>1</sup> Fourier-domain OCT로 측정한 신경절 세포 복합층, 망막신경섬유층에 대한 백내장 및 제거 후의 영향<sup>16</sup>에 대한 연구와 마찬가지로 본 연구에서 백내장 수술 후 신경절세포-내망상층 두께 측정치가 증가되었다.

백내장 수술 후 신경절세포-내망상층 두께가 두껍게 측정되는 기전은 백내장 수술 후 황반부, 망막신경 섬유층의 변화와 비슷한 기전으로 생각한다. OCT 측정은 눈에서 들어가고 나가는 빛의 양에 의존하기 때문에 깨끗한 광학적 매질은 들어가고 나가는 빛을 최적화시키지만 백내장은 광학적 매질을 통과하는 빛의 양을 줄여 망막의 상을 간섭한다. 낮은 투과율은 결론적으로 신호강도를 감소시키고 측정하려는 망막층의 반사율을 낮게 만들어 OCT의 software가 층의 윤곽을 나타내기 어려워 층을 얇게 측정하게 만든다.<sup>122</sup> 따라서 백내장 제거 후 신호강도의 증가는 빛의 투과율이 증가하고 망막층의 반사율이 증가되어 나타날 수 있다. 신경절세포-내망상층 두께 또한 백내장에 의한 낮은 빛 투과율에 의해 각층의 경계면이 부정확하게 측정되어 실제 두께보다 얇게 측정될 수 있다. 낭포황반부종이 생기는 기전처럼 백내장 수술 후 프로스타글란딘 등의 염증 인자들이 방수에서 유리체를 통과하여 망막의 혈액망막장벽(blood-retina-barrier)을 파열시켜 망막의 세포 외 공간으로 체액을 축적시켜 망막 두께가 증가할 수 있다는 의견이 있다.<sup>12</sup> 하지만 Bambo et al<sup>23</sup>의 연구에서 백내장 수술 전후 Cirrus OCT (Zeiss)와 Spectralis OCT (Heidelberg)로 황반부 두께를 측정하였을 때 Cirrus OCT는 본 연구와 같이 두께가 증가하였으나 Spectralis OCT는 증가하지 않아 황반부 두께의 증가가 병리적 구조의 변화보다는 백내장 제거에 의한 측정치의 변화 효과로 보는 게 타당하다.

상관분석에서 망막신경섬유층과 신경절세포-내망상층의 술 전 신호강도가 낮을수록 술 후 신호강도가 더 증가하였고, 신경절세포-내망상층에서 술 전 신호강도가 낮을수록 술 후 두께가 더 증가하였는데, 이는 백내장이 빛의 투과율을 낮춰 신호강도를 감소시키고 두께를 얇게 측정하고 술 후에는 신호강도가 증가하여 두께를 두껍게 측정하는 것으로 설명할 수 있다. 술 전 시력이 낮을수록 술 후 신경절세포-내망상층 두께가 증가하는 것은 백내장이 심할수록 시력 저하가 나타나고 신호강도도 낮아지기 때문이다.

본 연구에서 세 가지 백내장 유형 중 후낭형에서 OCT 이

미지에 더 영향을 주었다. 이 기전은 아직 완전히 설명되지 않으나 백내장 유형별 구조적 차이로 설명할 수 있다. 핵형 백내장은 색소화된 발색단(chromophore)과 상호 결합된 단백질 집합체의 증가가 특징적으로 선택적인 빛 영역의 흡수를 증가시킨다. 피질형 백내장은 전해질의 불균형이 수정체 섬유의 파열을 야기하고 결과적으로 불규칙한 수정체 단백질의 분포를 야기하고 굴절률을 변동시켜 산란을 증가시킨다. 후낭형 백내장은 상피세포들이 수정체 후극부로 이동하여 큰 세포와 구형입자로 합쳐져 들어가는 광선을 산란시키게 된다.<sup>1</sup> 이러한 구조적 차이로 핵형 백내장은 주로 근적외선(near-infrared light)을 흡수하지만 최소한의 빛 산란을 야기하므로 결과적으로 오직 반사 신호 강도만 감소되어 빛 자체는 보존된다. 피질형이나 후낭형에서 입사광선과 반사광선이 좀 더 산란에 의해 영향을 받기 때문에 신호강도 저하와 OCT 이미지 질 저하에 영향을 더 미치게 된다.<sup>10</sup> 또한 본 연구에서 포함된 후낭형의 경우 주로 시축을 가리는 경우가 많아 신호강도 저하에 더 영향을 미칠 수 있다.

백내장 수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층 측정치의 변화는 신경절세포-내망상층이 7.36%, 망막신경섬유층은 14.16%로 신경절세포-내망상층이 덜 증가하는 것으로 나타났다. 이는 몇 가지 가설로 설명할 수 있다. 첫 번째로 신경절세포-내망상층의 술 전 평균 신호강도는 7.66으로 망막신경섬유층(6.93)보다 높기 때문에 변화량이 더 적게 나타날 수 있다. 비록 수술 후 두 군의 신호강도 변화가(GCIPL 17.94% VS RNFL 15.49%)로 비슷하였지만 신호강도가 낮을수록 층의 윤곽을 불분명하게 인식하여 두께를 더 얇게 측정할 수 있다.<sup>19</sup> 이처럼 망막신경섬유층의 신호강도가 신경절세포-내망상층보다 높게 나타나는 것은 시선고정 방향으로 설명될 수 있다. 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층은 각각 OCT의 macular cube와 optic disc cube에서 측정되는 것으로 황반은 시축과 일치하지만 시신경은 시축에 대해 비축으로 위치하여 있다. 따라서 macular cube는 중앙고정(central fixation)에 의해 얻어지지만 optic disc cube는 편심고정(eccentric fixation)에 의해 얻어지게 되고 이로 인해 macular cube는 이미지 획득을 쉽게 얻어지고 optic disc cube는 획득이 어려워져 같은 눈에서 촬영 시 optic disc cube는 macular cube보다 신호강도가 떨어질 수 있다. 게다가 시신경 유두의 경사가 심하다면 OCT 반사가 일정하지 않아 신호강도가 떨어질 수 있다.<sup>20</sup> 두 번째 가설은 망막신경섬유층은 OCT 측정 시 첫 번째로 반사하는 층이기 때문에 정확한 측정을 위해서 신호강도에 더 의존적이기 때문에 신경절세포-내망상층보다 백내장 수술 후 더 변화할 수 있다. OCT는 망막신경섬유층을 측정할 때

바깥 경계와 안쪽 경계를 다른 층과 반사도로 구분하여 그 두께를 측정하게 되는데 안쪽 경계는 유리체보다 반사도가 크기 때문에 쉽게 측정할 수 있지만 바깥 경계는 좀 더 반사되는 망막신경섬유층과 안쪽의 덜 반사하는 망막층과 구분하는 것이 어렵게 된다. 그러므로 바깥 경계를 좀 더 정확히 구분하기 위해 높은 신호강도가 필요하다.<sup>21</sup> 하지만 신경절세포-내망상층은 바깥쪽과 안쪽 경계가 모두 망막내에 있기 때문에 망막신경섬유층보다 구분이 더 용이해 두께 측정이 쉬우며 신호강도 변화에도 덜 민감하게 반응할 수 있다.

현재까지 문헌검색상 백내장 수술 후 신경절세포-내망상층 변화에 대한 연구는 없었다. 녹내장의 진행 상태를 신경절세포-내망상층을 통해 관찰하였을 때 백내장 수술 후 측정된 두께가 증가할 수 있음을 알고 향후 녹내장의 진행 여부의 판단에 참고하여야 할 것이다. 또한 이를 역으로 생각해보면 백내장 존재 시 망막신경섬유층과 신경절세포-내망상층이 본래 두께보다 얇게 측정되어 녹내장으로 오인될 수 있음을 유의해야 할 것이다.

최근 녹내장 진단에서 신경절세포-내망상층의 측정이 도입되고 있고 이미 널리 사용되고 있는 망막신경섬유층과 비교하였을 때 비슷한 녹내장 진단력이 있는 것이 알려져 있다. 두 지표 모두 백내장에 의해 본래 두께보다 얇게 측정되지만 망막신경섬유층이 더 얇게 측정되는 것으로 보아 망막신경섬유층이 백내장에 더 영향을 받는다고 할 수 있다. 따라서 수술할 정도의 중증도 이상의 백내장이 있는 경우 녹내장 진단에서 망막신경섬유층뿐만 아니라 신경절세포-내망상층을 측정하여 녹내장으로 오진되는 것을 피해야 하며 추후 녹내장과 백내장이 같이 있는 환자에서 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 녹내장 진단력에 대한 비교 연구가 필요하다.

본 연구는 전향적 연구로 수술 후 낭포성 황반부종과 segmentation error는 없었으며 백내장 외 OCT 이미지에 영향을 줄 수 있는 동공크기, 심한 안구건조, 심한 각막난시, 고도 근시를 배제하여 연구의 강도를 높였다. 인공수정체 종류별 결과 분석은 인공수정체 종류별 백내장 수술 전후 망막신경섬유층 변화의 차이가 없었다는 Kim et al<sup>24</sup>의 연구를 바탕으로 본 연구에는 포함시키지 않았다. 한계점으로는 5주의 짧은 연구기간과 녹내장안이 포함되지 않은 점이다. 녹내장 안에서도 같은 결과가 나오는지 추가적인 연구가 필요하다.

이번 연구로 백내장 수술 후 신경절세포-내망상층의 변화에 대해 살펴보았다. 망막신경섬유층이나 황반부처럼 측정치가 증가한다는 것을 알 수 있었으며 신경절세포-내망상층이 망막신경섬유층보다 백내장에 영향을 덜 받기 때문

에 백내장이 동반된 녹내장에서 신경절세포-내망상층 지표를 적극적으로 활용할 필요가 있으며 추가적인 연구가 필요할 것이다.

## REFERENCES

- 1) Mwanza JC, Bhorade AM, Sekhon N, et al. Effect of cataract and its removal on signal strength and peripapillary retinal nerve fiber layer optical coherence tomography measurements. *J Glaucoma* 2011;20:37-43.
- 2) DeBuc DC, Somfai GM, Ranganathan S, et al. Reliability and reproducibility of macular segmentation using a custom-built optical coherence tomography retinal image analysis software. *J Biomed Opt* 2009;14:064023.
- 3) Koh VT, Tham YC, Cheung CY, et al. Determinants of ganglion cell-inner plexiform layer thickness measured by high-definition optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:5853-9.
- 4) Mwanza JC, Oakley JD, Budenz DL, et al. Macular ganglion cell-inner plexiform layer: automated detection and thickness reproducibility with spectral domain-optical coherence tomography in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52:8323-9.
- 5) Tham YC, Cheung CY, Koh VT, et al. Relationship between ganglion cell-inner plexiform layer and optic disc/retinal nerve fibre layer parameters in non-glaucomatous eyes. *Br J Ophthalmol* 2013;97:1592-7.
- 6) Tan O, Chopra V, Lu AT, et al. Detection of macular ganglion cell loss in glaucoma by Fourier-domain optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2009;116:2305-14.e1-2.
- 7) Shin HY, Park HY, Jung KI, et al. Glaucoma diagnostic ability of ganglion cell-inner plexiform layer thickness differs according to the location of visual field loss. *Ophthalmology* 2014;121:93-9.
- 8) Mwanza JC, Durbin MK, Budenz DL, et al. Glaucoma diagnostic accuracy of ganglion cell-inner plexiform layer thickness: comparison with nerve fiber layer and optic nerve head. *Ophthalmology* 2012;119:1151-8.
- 9) Takayama K, Hangai M, Durbin M, et al. A novel method to detect local ganglion cell loss in early glaucoma using spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:6904-13.
- 10) van Velthoven ME, van der Linden MH, de Smet MD, et al. Influence of cataract on optical coherence tomography image quality and retinal thickness. *Br J Ophthalmol* 2006;90:1259-62.
- 11) Esmaeelpour M, Povazay B, Hermann B, et al. Three-dimensional 1060-nm OCT: choroidal thickness maps in normal subjects and improved posterior segment visualization in cataract patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:5260-6.
- 12) Cagini C, Fiore T, Iaccheri B, et al. Macular thickness measured by optical coherence tomography in a healthy population before and after uncomplicated cataract phacoemulsification surgery. *Curr Eye Res* 2009;34:1036-41.
- 13) von Jagow B, Ohrloff C, Kohnen T. Macular thickness after uneventful cataract surgery determined by optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2007;245:1765-71.
- 14) Ghosh S, Roy I, Biswas PN, et al. Prospective randomized comparative study of macular thickness following phacoemulsification

- and manual small incision cataract surgery. Acta Ophthalmol 2010; 88:e102-6.
- 15) El-Ashry M, Appaswamy S, Deokule S, Pagliarini S. The effect of phacoemulsification cataract surgery on the measurement of retinal nerve fiber layer thickness using optical coherence tomography. Curr Eye Res 2006;31:409-13.
  - 16) Nakatani Y, Higashide T, Ohkubo S, et al. Effect of cataract and its removal on ganglion cell complex thickness and peripapillary retinal nerve fiber layer thickness measurements by fourier-domain optical coherence tomography. J Glaucoma 2013;22:447-55.
  - 17) Lee Y, Sung KR, Hong JT, Na JH. Glaucoma diagnostic performance of macular and retinal nerve fiber layer by spectral-domain optical coherence tomography. J Korean Ophthalmol Soc 2010; 51:1250-7.
  - 18) Mwanza JC, Budenz DL, Godfrey DG, et al. Diagnostic performance of optical coherence tomography ganglion cell-inner plexiform layer thickness measurements in early glaucoma. Ophthalmology 2014;121:849-54.
  - 19) Cheung CY, Leung CK, Lin D, et al. Relationship between retinal nerve fiber layer measurement and signal strength in optical coherence tomography. Ophthalmology 2008;115:1347-51, 1351.e1-2.
  - 20) Na JH, Sung KR, Lee Y. Factors associated with the signal strengths obtained by spectral domain optical coherence tomography. Korean J Ophthalmol 2012;26:169-73.
  - 21) Wu Z, Huang J, Dustin L, Sadda SR. Signal strength is an important determinant of accuracy of nerve fiber layer thickness measurement by optical coherence tomography. J Glaucoma 2009; 18:213-6.
  - 22) Pareja-Esteban J, Teus-Guezala MA, Drake-Casanova P, Dapena-Sevilla I. [Retinal nerve fiber layer changes after cataract surgery measured by OCT: a pilot study]. Arch Soc Esp Oftalmol 2009; 84:305-9.
  - 23) Bambo MP, Garcia-Martin E, Otin S, et al. Influence of cataract surgery on repeatability and measurements of spectral domain optical coherence tomography. Br J Ophthalmol 2014;98:52-8.
  - 24) Kim JH, Kim NR, Lee ES, et al. Influence of blue light-filtering intraocular lenses on retinal nerve fiber layer measurements by spectral-domain optical coherence tomography. Curr Eye Res 2011; 36:937-42.

## = 국문초록 =

# 백내장 수술 전후 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층 측정치의 변화

**목적:** 백내장 수술 전후 빛간섭단층촬영에서 나타나는 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 측정치의 변화를 비교하고자 하였다.

**대상과 방법:** 백내장 환자 32명, 46안을 대상으로 수술 전, 수술 후 5주째에 스펙트럼 영역 빛간섭단층촬영을 이용하여 황반부 신경절세포-내망상층(GCIPL)과 망막신경섬유층(RNFL)의 두께를 반복 측정하여 수술 전후의 수치를 비교하였다.

**결과:** 백내장 수술 후 황반부 신경절세포-내망상층(GCIPL)과 망막신경섬유층(RNFL)의 두께는 모든 부분에서 유의하게 증가하였다( $p < 0.001$ ). RNFL 평균 두께의 증가량(14.16%)은 GCIPL의 증가량(7.36%)보다 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.001$ ). GCIPL과 RNFL 두께 및 GCIPL 신호강도 변화는 모든 백내장 유형에서 유의하게 증가하였으며, RNFL의 신호강도 변화는 후낭형 백내장에서 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ).

**결론:** 황반부 신경절세포-내망상층과 망막신경섬유층의 두께의 측정치는 백내장에 유의 있게 영향을 받으며 백내장 수술 후에 증가한다. 황반부 신경절세포-내망상층두께는 백내장에 영향을 덜 받으므로 백내장과 동반한 녹내장에서보다 더 의미 있는 지표일 수 있다.

〈대한안과학회지 2015;56(4):485-493〉