

백내장 수술 후 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영에서 나타나는 시신경 지표 변화

이경식¹ · 김용민² · 김지현² · 안지민² · 정우석² · 최정범² · 박경수²

연세대학교 의과대학교¹, 실로암 안과병원²

목적: 백내장 수술 전, 후 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영(Spectral-domain Optical Coherence Tomography, OCT)에서 나타나는 시신경 관련 지표들이 변화하는 양상을 비교해 보고자 하였다.

대상과 방법: 백내장 수술을 받은 26명, 29안을 대상으로 하였다. 백내장 수술 전 후로 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영을 이용, 시신경유두 주위 망막신경섬유층 두께, 시신경유두 분석을 시행하였다. 신호강도, 사분면, 시구역 망막신경섬유층 두께, 테면적(rim area), 시신경유두면적(disc area), 유두함몰면적비(cup / disc area ratio), 수직유두함몰비(vertical cup / disc ratio), 유두함몰부피(cup volume) 등의 자료를 비교분석하였다.

결과: 백내장 수술 후 신호강도, 망막신경섬유층 두께 모두 증가하는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 시신경유두 관련 지표들 중 테면적은 $0.07 \pm 0.10 \text{ mm}^2$ 만큼 증가하였고, 시신경유두면적, 유두함몰면적비, 수직유두함몰비, 유두함몰부피는 $0.07 \pm 0.15 \text{ mm}^2$, 0.04 ± 0.04 , 0.03 ± 0.05 , $0.04 \pm 0.06 \text{ mm}^3$ 만큼 감소하였다($p < 0.05$).

결론: 백내장이 있는 경우 빛간섭단층촬영상 나타나는 수술 전 시신경유두 주위 망막신경섬유층 두께와 신호강도를 낮게 만들었고 다른 시신경유두 지표들도 통계적으로 유의한 변화를 나타내어 결과 해석할 경우 고려되어야 한다.

<대한안과학회지 2013;54(10):1573-1580>

녹내장은 시신경병증으로 인해 특징적인 시신경의 형태학적 변화가 생기고 시야결손이 생기는 질환이다. 녹내장이 진행하면서 망막신경절 세포와 축삭수는 점차적으로 줄어들게 되어 망막신경섬유층 두께가 줄어들게 된다.¹ 녹내장의 진행을 보기 위해서 기능적인 측면에서는 시야검사, 해부학적인 측면에서는 망막신경섬유층(retinal nerve fiber layer; RNFL) 촬영, 시신경유두사진촬영, 주사 레이저 편광측정기(scanning laser polarimetry, GDx), 빛간섭단층촬영기(optical coherence tomography, OCT)를 이용한 촬영 등을 시행한다.^{2,3} 모든 검사가 필요하겠지만 조기 진단을 위해서는 여러 검사를 시행하여 작은 변화를 감지하는 것이 중요하다. 기능검사인 시야검사가 중요하지만, 시야검사는 환자의 적응과 여러 변수가 개입할 수 있다는 한계가 있다. 그리하여 재현성이 뛰어나고 객관적 분석이 가능하며, 기능적 손상보다 선행해서 녹내장성 변화를 알 수 있는 해부학, 구조적인 검사들이 임상에서 유용하게 사용되고 있다.⁴⁻⁶

빛간섭단층촬영기는 적외선 계열의 레이저 간섭계를 이용한, 비침습적인 영상장치로 망막신경섬유층 두께를 포함한, 망막, 시신경에 대한 다양한 정보를 제공하고 있다. 해상력, 재현성 등이 우수하여 망막 질환, 녹내장성 변화 조기 진단 등의 분야에 유용하게 쓰인다.^{3,7,8} 기존 보고에서 빛간섭단층촬영기는 망막신경섬유층 두께 측정을 통해 정상과 녹내장성 시신경을 구별할 수 있게 해주고 수년간의 경과 관찰시 녹내장성 변화의 발생, 악화 등과 연관이 있다고 알려졌다.^{3,9-12}

하지만 빛간섭단층촬영기는 빛의 간섭현상을 이용하기 때문에 광학 경로에 매질 이상, 혼탁 등의 인자가 있을 경우 상의 질이 영향을 받게 된다.^{13,14} 대표적인 인자들로는 백내장, 각막 건조도, 동공 크기, 해부학적 인자 등이 있다.¹⁵⁻²⁰ 특히 노년층에게 있어, 백내장은 빛간섭단층촬영의 질에 영향을 주는 대표적인 인자로, 백내장 정도가 심해질수록 망막신경섬유층 두께가 얇게 측정될 수 있다고 알려졌다.^{16,18,21,22}

기존 보고들에서 백내장 수술 후 빛간섭단층촬영시 신호강도, 시신경유두주위 망막신경섬유층 두께가 증가되는 것은 확인되었으나, 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영(spectral-domain optical coherence tomography, OCT) 관련 연구와, 시신경유두(optic nerve head; ONH) 관련 지표, 테면적(rim area), 시신경유두면적(disc area), 유두함몰면적비(cup / disc area

■ Received: 2013. 2. 8. ■ Revised: 2013. 5. 16.
■ Accepted: 2013. 8. 5.
■ Address reprint requests to **Kyoung Soo Park, MD**
Siloam Eye Hospital, #181 Deungchon-ro, Gangseo-gu, Seoul
157-836, Korea
Tel: 82-2-2650-0880, Fax: 82-2-2650-0895
E-mail: march789@siloam.co.kr

ratio), 수직유두함몰비(vertical cup / disc ratio), 유두함몰부피(cup volume)들이 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 부족하였다. 본 연구에서는 스펙트럼영역 빛간섭단층촬영영에서 나타나는 시신경유두주위 망막신경섬유층 두께 변화에 대해서 다시 살펴보고, 시신경유두 분석의 지표들은 백내장 수술 후 어떻게 변화되는 지를 알아보고자 하였다.

대상과 방법

2012년 11월부터 2013년 4월까지 본원에서 노년성 백내장으로 수술받은 환자들을 대상으로 하였다. 환자들은 외래를 방문한 환자들 중 자발적인 의사에 부합하는 경우에 선정되었고, 의학연구윤리강령인 헬싱키선언을 준수하여 연구가 시행되었다. 환자들 중 각막 혼탁, 약시, 녹내장, 당뇨성 망막병증 등 질환과 안구 외상, 백내장 외 안과 수술을 받은 환자, 수술 중 인공수정체 이탈 등 심각한 합병증이 있던 환자는 대상에서 제외하여 최종 대상자는 29인이었다.

백내장 정도는 Lens Opacification Classification System III (LOCS III)를 이용하여 수술자가 직접 평가하였고 피질(cortical; C), 핵(nuclear; N), 후낭(posterior subcapsular; P) 백내장으로 구분하여 가장 높은 점수를 가진 형태로 분류하였다. NO3-NC3 이상이며 C3, P3미만인 경우는 핵, NO3-NC3 미만이면 C나 P 중 높은 점수인 형태로 분류하였다.²³

모든 수술은 점안마취 후 2.8 mm 각막절개도를 이용하여 이측에 투명각막 절개창을 만들었다. 점탄물질을 전방에 주입한 후 수정체낭원형절개를 시행하고 평형염액을 사용하여 수력분리술 및 수력분출술을 시행하였다. 초음파를 이용한 수정체 유화술로 수정체 핵을, 관류흡입기로 수정체 피질을 제거하였다. 카트리지를 이용하여 인공수정체를 수정체낭 내에 삽입하였으며 남아있던 점탄물질을 관류흡입기로 제거하고 평형염액을 사용하여 전방을 유지하였다.

인공수정체는 비구면 인공수정체인 BioVue4PAL® (AAREN, Ontario, CA, USA), 또는 Teklens II® (TEKIA, Irvine, CA, USA)를 삽입하였다. 인공수정체 도수는 SRK-T 공식을 이용하여 정시에 가까운 근시를 목표로 하여 결정하였다.

모든 환자는 수술 전, 수술 후 1일, 1주, 1달째에 기본 진료를 받았고, 연구를 위한 검사는 수술 전, 수술 후 1달째에 시행하였다. 연구를 위한 검사 항목으로는 수술 전 백내장 상태(피질, 핵, 후부), 수술 전, 1달째 최대교정시력, 안압, 굴절력, 시신경유두주위 망막신경섬유층 두께, 신호강도 등을 측정하였다. 굴절력은 자동굴절검사기(Canon, Inc, Tokyo, Japna)를 사용하여 검사하였고, 시신경유두주위 망막신경

섬유층 두께, 시신경유두 분석 등은 빛간섭단층촬영기 종류 가운데 Cirrus HD OCT (Carl Zeiss Meditec, Inc, Dublin, CA, USA)를 사용하여 산동 후, 재현성을 높이기 위해 각각 2차례씩 측정되었다.

통계학적 방법으로는 수술 전후의 각종 변수들을 비교하기 위해서 비모수적 분석방법인 Wilcoxon's signed-ranks test를 사용하였고, 수술 전, 후 신호강도, 신호강도변화, 안압변화와 망막신경섬유층 두께 평균의 변화, 시신경관련 변수 변화와의 상관관계를 보기 위해 비모수적 방법인 Spearman 상관분석을 사용하였다. 유의확률 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의하다고 정의하였다. 통계 분석은 SPSS 17.0 프로그램(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

결 과

최종 대상자는 29인, 26명이었다. 나이(평균 \pm 표준편차)는 68.55 ± 9.24 세였다. 술전 굴절이상인 평균 절대값은 1.04 ± 1.18 디옵터, 술전 난시 평균 절대값은 0.62 ± 0.61 디옵터, 술전 안압은 12.62 ± 3.02 mmHg, 피질백내장이 24인, 핵백내장이 3인, 후부백내장이 2인이었다. 인공수정체 종류는 BioVue4PAL®가 20인, Teklens II®가 9인이었다. 수술 후 검사까지 걸린 기간은 31.48 ± 12.95 일이었다(Table 1).

백내장 수술 전후 빛간섭단층촬영검사의 신호강도는 통계적으로 유의한 차이를 가지고 증가하는 경향을 보여주었다. 수술 전후 시신경유두주위 망막신경섬유층 두께도 정도의 차이는 있지만, 모든 사분면, 시구역, 평균 두께를 포함한 수치가 모두 통계적으로 유의하게 증가하는 경향을 보여주었다(Table 2).

Table 1. Clinical characteristics of patients

	Cirrus HD-OCT, Zeiss
Numbers (eyes : patients)	29 : 26
Age (years)	68.55 ± 9.24
Sex (male : female)	10 : 16
Eye (right : left : both)	10 : 13 : 3
Preoperative SE (diopter)	1.04 ± 1.18
Preoperative BCVA (log MAR)	0.33 ± 0.29
Preoperative IOP (mm Hg)	12.62 ± 3.02
Types of lens opacities (cortical : nuclear : posterior)	24 : 3 : 2
Types of Intraocular lens (BioVue4PAL® : Teklens II®)	20 : 9
Follow up (days)	31.48 ± 12.95

Values are presented as mean \pm SD.

SD = standard deviation; SE = spherical equivalent; BCVA = best corrected visual acuity; IOP = intraocular pressure.

Table 2. Comparison of RNFL parameter between preoperative, postoperative data measured by Cirrus HD-OCT

Parameter		Preoperative	Postoperative	Difference	p-value*
Signal strength		3.48 ± 1.18	5.67 ± 1.46	2.19 ± 1.72	<0.001
RNFL (μm)	Superior	100.40 ± 15.48	108.91 ± 19.00	8.52 ± 13.79	0.001
	Nasal	60.78 ± 11.10	67.24 ± 11.37	6.47 ± 5.40	<0.001
	Inferior	102.45 ± 16.67	116.03 ± 18.34	13.59 ± 12.29	<0.001
	Temporal	60.81 ± 10.01	66.05 ± 13.04	5.24 ± 7.07	0.001
Clock hour	1	93.43 ± 24.39	103.21 ± 27.65	9.78 ± 13.54	0.001
	2	71.64 ± 15.35	78.74 ± 15.15	7.10 ± 7.22	<0.001
	3	53.07 ± 10.54	58.85 ± 11.58	5.78 ± 5.73	<0.001
	4	57.43 ± 10.69	64.69 ± 12.36	7.26 ± 7.93	<0.001
	5	94.19 ± 25.58	103.21 ± 28.33	9.02 ± 12.20	0.001
	6	112.48 ± 25.82	123.16 ± 28.38	10.67 ± 17.79	0.001
	7	100.74 ± 27.59	121.45 ± 29.96	20.71 ± 17.26	<0.001
	8	60.03 ± 13.26	67.76 ± 16.46	7.72 ± 7.19	<0.001
	9	51.67 ± 11.93	55.93 ± 12.31	4.26 ± 7.39	0.001
	10	70.48 ± 13.25	74.60 ± 15.33	4.12 ± 13.85	0.003
	11	101.31 ± 23.70	110.02 ± 25.34	8.71 ± 24.46	0.012
	12	104.36 ± 21.02	113.67 ± 22.46	9.31 ± 14.25	0.004
	Average	81.05 ± 9.46	89.53 ± 11.51	8.48 ± 6.58	<0.001

Values are presented as mean ± SD.

*Calculated by Wilcoxon's signed-ranks test.

Table 3. Comparison of ONH parameter between preoperative, postoperative data measured by Cirrus HD-OCT

Parameter		Preoperative	Postoperative	Difference	p-value*
ONH	Rim area (mm ²)	1.13 ± 0.21	1.20 ± 0.24	0.07 ± 0.10	0.002
	Disc area (mm ²)	2.08 ± 0.52	2.01 ± 0.48	-0.07 ± 0.15	0.003
	Cup / disc area ratio	0.63 ± 0.15	0.58 ± 0.17	-0.04 ± 0.04	<0.001
	Vertical cup / disc ratio	0.59 ± 0.14	0.56 ± 0.16	-0.03 ± 0.05	0.001
	Cup volume (mm ³)	0.26 ± 0.27	0.23 ± 0.24	-0.04 ± 0.06	0.001

Values are presented as mean ± SD.

*Calculated by Wilcoxon's signed-ranks test.

Table 4. Spearman's correlation between change in average RNFL thickness and signal strength (SS), IOP (intraocular pressure)

Factor	Rho	p-value*
Preoperative SS	0.03	0.88
Postoperative SS	0.21	0.28
SS change	0.14	0.46
IOP change	-0.23	0.22

*Calculated by Spearman's correlation.

시신경 유두분석 빛간섭단층촬영 결과에서는 테면적은 $0.07 \pm 0.10 \text{ mm}^2$ 만큼 증가하였고, 시신경유두면적, 유두함몰면적비, 수직유두함몰비, 유두함몰부피는 $0.07 \pm 0.15 \text{ mm}^2$, 0.04 ± 0.04 , 0.03 ± 0.05 , $0.04 \pm 0.06 \text{ mm}^3$ 만큼 감소하였고 모두 통계적으로 유의한 변화를 나타냈다(Table 3).

전체 지표 중에 기존 보고에 있었던 평균 망막신경섬유층 두께의 변화량을 알려져 있는 변수들인 수술 전, 후, 신호강도, 신호강도 변화량, 안압 변화량과 비교하였다.²² 이번 연구에서 기존 연구에서 나타났던 수술 전 신호강도를 포함한 모든 변수들이 유의한 상관관계를 보이지 않았다

(Table 4).

시신경유두 관련 각종 지표들의 변화량도 수술 전, 후, 신호강도, 신호강도 변화량, 안압 변화량과 비교하였으나 대부분 변수들이 유의한 상관관계를 나타내지는 않았다. 시신경유두면적과 신호강도변화량만이 유의한 음의 상관관계를 나타내었다(Table 5).

고 찰

외래에서 사용되고 있는 녹내장 관련 검사들로 안압측정, 세극등을 이용한 시신경유두 함몰비 측정, 시야검사 등이 있다. 이 중에서 구조, 기능을 보는 정밀검사로 시야검사, 시신경섬유층 관련 검사, 주사 레이저 편광측정기, 빛간섭단층촬영기 등이 있어 유용하게 사용되고 있다.^{2,3} 시야검사는 기능을 볼 수 있는 검사로 녹내장 진단과 진행 등 결과를 보는데 필수적이지만, 시신경손상이 상당부분 진행되어야 결손이 나타나고 환자 나이, 피로, 순응도 등에 따라 차이가 커서 한계가 있어 객관적이고 정량적인 다른 검사들

Table 5. Spearman's correlation between change in optic nerve parameters and signal strength (SS), IOP (intraocular pressure)

Factor		Rho	p-value*
Rim area	Preoperative SS	0.02	0.94
	Postoperative SS	-0.11	0.57
	SS change	-0.23	0.22
	IOP change	0.04	0.84
Disc area	Preoperative SS	0.17	0.37
	Postoperative SS	-0.33	0.08
	SS change	-0.51	0.005
	IOP change	0.06	0.77
CDAR	Preoperative SS	0.15	0.44
	Postoperative SS	-0.10	0.60
	SS change	-0.16	0.40
	IOP change	-0.29	0.13
VCDR	Preoperative SS	0.26	0.17
	Postoperative SS	-0.09	0.66
	SS change	-0.25	0.19
	IOP change	-0.33	0.08
Cup volume	Preoperative SS	0.21	0.28
	Postoperative SS	-0.19	0.34
	SS change	-0.30	0.11
	IOP change	0.13	0.51

*Calculated by Spearman's correlation.

CDAR = cup / disc area ratio; VCDR = vertical cup / disc ratio.

이 활용되고 있다.⁴⁻⁶ 그 중에서 빛간섭 단층촬영기를 이용한 시신경유두주위 망막신경섬유층 두께, 시신경 유두 분석 등은 진단과 경과 관찰을 환자, 의사 모두 쉽게 이해하는데 도움을 주고 있다.⁷⁻¹²

하지만 여러 보고에서 보여 주듯이 빛의 성질을 이용하기에 각종 매질이상 등 여러 가지 요소에 의해 영향을 받게 된다. 각막 건조가 있을 경우, 신호강도, 망막신경섬유층 두께가 일시적으로 저하되므로, 검사 전 눈 깜박임을 시행하거나 인공눈물 점안을 해서 검사의 정확도를 올려준다.¹⁵ 산동되어 있는 경우가 무산동에 비해 망막신경섬유층 두께와 시신경유두함몰비 측정시 검사의 질과 재현성이 높게 나타난다.¹⁷ 해부학적 특성 및 기타 특성으로는 나이가 더 들수록 아시아인이나 히스패닉에 비해 코카시안이, 안축장이 길수록 더 얇게 측정된다고 알려졌다.²⁰

그 중에서 특별히 백내장이 망막신경섬유층 두께 측정에 미치는 영향에 대해서 여러 보고가 있었다.^{16,18,21,22,24} Mwanza et al²²은 Stratus OCT를 이용하여 백내장 수술 후 시신경유두주위 망막신경섬유층 두께가 9.3%, 신호 강도는 24.1% 달라지고 수술 전 망막신경섬유층 두께, 신호강도가 낮을수록 수술 후 망막신경섬유층두께가 더 많이 증가하였으며, 신호강도 6 이상인 경우는 수술 전후 유의한 차이가 적었다고 보고하고 이 저하가 마치 녹내장성 변화, 진행 등을 의심하도록 오인하도록 만들 수 있어 특별히 주의를 요하고

항상 신호강도 및 백내장 상태를 참고하여 빛간섭단층촬영 결과를 해석해야 한다고 하였다. 또한 Kok et al²⁴은 Cirrus OCT와 3D OCT-1000 mark II를 이용한 연구에서 수술 전후 망막신경섬유층 평균 두께와 광학밀도(optical density) 등이 유의하게 차이남을 보여주었다.

이번 연구에서도 과거 여러 보고에서 보여주듯이 백내장 수술로 매질혼탁이 감소하면 신호강도가 증가하고 시신경유두주위 망막신경섬유층 두께가 증가하는 것이 나타나고 있다(Table 2). 평균, 사분면, 시구역으로 나누어진 모든 두께가 수술 전보다 증가하고 있었다. 과거 보고에서 신호강도 6 미만인 경우에서 현저한 증가가 나타나고 그 이상인 경우 차이가 적었다고 했는데 이번 연구에서는 수술 전 신호강도가 모두 6 미만이었어서 증가하는 양상을 보여주었다.²²

과거 보고에서 다른 백내장 종류보다 후낭 백내장의 경우 더 큰 두께 변화를 보여주었다.^{19,22} 본 연구에서도 백내장에 따른 분석은 피질백내장은 표본수가 유의하여 비모수적 분석상 전체 결과와 유사하게 수술 후 증가된 양상을 보였으나 핵, 후낭백내장은 표본수가 너무 적어 통계적인 분석을 할 수 없었다.

시신경유두분석과 관련된 측정치들에 대해서는 백내장 전후의 양상을 살펴본 연구가 많지 않다. 이는 자동 분석의 한계와 관련이 있을 수 있다. Sim and Park²⁵은 한국인 녹내장 환자 진단을 위한 Stratus OCT 이용한 시신경유두 분석에서 Heidelberg Retina Tomograph (HRT, Confocal laser scanning ophthalmoscopy, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)와 달리 OCT는 자동으로 망막색소상피 가장자리를 시신경유두경계로 인식하여 근시안에서도 제약이 적은 등 장점이 있으나 30도 간격의 방사상 영상(radial scan) 사이는 내삽법으로 기계가 추측하므로 전체를 영상화하는 HRT보다 정확도가 떨어질 수 있어 30도 간격 안에 있는 시신경 유두테페임 등의 병변은 쉽게 간과될 수 있고 또한 기준면이 황반유두속보다는 망막색소상피층보다 150 μ m 위를 경계로 하여 다른 검사들과 차이가 있을 것이라고 하였다. 자동 시신경 유두 분석은 시신경 양쪽 망막색소상피와 맥락막모세혈관 끝을 결정하여 연결한 직선으로 유두직경을 정하고, 기준면은 시신경유두직경의 150 μ m 위쪽의 평행선으로 아래는 유두함몰, 위는 시신경테로 정하고 있고 시신경유두경계는 각각의 망막색소상피, 맥락막모세혈관 끝을 연결한 것이다. 이러한 자동인식 방법은 불규칙하고 부자연스러운 형태와 크기를 보이는 경우가 많아 어떤 연구에서는 53-61%까지 변형을 관찰하였다고 한다.^{23,26}

또한 백내장수술 전후 시신경유두분석의 연구가 부족한 것은 시신경유두함몰비는 시신경유두 사진, 진료 등으로 측

정이 가능하므로 망막신경섬유 두께 측정처럼 빛간섭단층촬영 고유의 검사로 얻어낼 필요가 없어 활용 빈도가 낮아 서일 수 있다.

그럼에도 불구하고 시신경유두분석으로 얻어낼 수 있는 정보들은 녹내장성 변화를 관찰하기에 유익한 측면이 있다. Sim and Park²⁵은 각종 녹내장 관련 검사와 Horizontal Integrated Rim Area (HIRA)가 가장 높은 상관관계가 있다고 보고하였다. HIRA는 망막색소상피의 가장자리부터 신경섬유층의 표면까지의 가장 가까운 거리를 합한 면적으로 다른 지표와 달리 기준면에 의한 영향이 적고, 모든 신경섬유 두께를 나타내므로 녹내장 진행에 따라 시신경섬유 감소로 두께가 민감하게 감소할 것이라고 하였다.

또한 자동의 한계는 있지만, Schuman et al²⁷은 자동과 수동으로 경계를 정하는 것은 진단능력이 비슷하여 수동으로 경계를 정하는 것은 꼭 필요한 것이 아니고 일부에서 필요하다고 하여 자동 분석방식도 의의가 있음을 밝혔다.

시신경유두함몰비 뿐만 아니라 깊이, 부피 등 다양한 정보를 주므로 더 깊이 있는 분석을 위해서는 보조적 수단 이상으로 활용할 수 있다는 점도 의의를 둘 수 있다.

몇몇 관련 연구들을 살펴보면, Smith et al¹⁷은 Stratus OCT를 이용한 산동, 무산동된 환자의 검사에서 망막시신경유두층 두께는 산동, 무산동의 영향을 받으나 시신경유두함몰비는 영향이 적는데 이 원인은 망막시신경유두층 측정은 원형(circular scan) 방식임에 비해 시신경유두함몰비는 선형(line scan) 방식으로 차이가 나기 때문일 것이라고 하였고, 측정값은 무산동의 경우 망막시신경유두층 두께는 더 얇게, 시신경유두함몰비는 더 크게 측정되었는데 원인은 명확하지 않다고 보고하였다. 빛간섭단층촬영은 아니지만 Sánchez-Cano et al²¹은 백내장 수술 전후 비교에서 Heidelberg Retina Tomograph 3 (HRT 3, Confocal laser scanning ophthalmoscopy, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)를 이용한 연구에서 함몰 깊이(depth), 부피(volume) 관련 인자, 영상의 질 등이 수술 전에 비해 통계적으로 유의하게 변화하는 것을 보고하고 함몰 깊이와 부피는 각막과 수정체 변화로 인한 것이고, 영상의 질은 백내장 수술 자체로 인한 수정체 변화에 기인하는 것이라고 하였다.

이번 연구에서 시신경유두분석과 관련하여 테면적, 시신경유두면적, 유두함몰면적비, 수직유두함몰비, 유두함몰부피가 통계적으로 유의한 변화를 나타냈다(Table 3). 테면적은 증가하였고 다른 지표들은 감소한 양상이었다. 여러 가지 보고들에서 주로 두께, 깊이, 부피와 같은 인자들이 변화하여 영향을 받는 것으로 생각되었다. 이는 횡적인 측면보다 깊이, 두께 등 종적인 측면, 신호강도와 연관지어 영상의 질에 의한 영향이 클 것으로 유추하였기 때문이다. Sim

and Park²⁵의 보고에서 HIRA는 시신경섬유 감소로 두께 변화를 민감하게 반영한다는 내용이 연관되었다고 할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 면적 관련 인자 등 다른 인자들도 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 매질 혼탁으로 인한 상의 흐림으로 횡적인 영역인 면적 또한 영향을 받고 이전 보고에서 이야기하였듯이 백내장 수술시 각막, 수정체 등의 변형으로 인한 효과일 수 있다. 과거 테면적도 시야 손상 지표와 높은 상관관계를 가지고 있어 HIRA 다음으로 높은 녹내장 판별 지표라고 하였는데 이 부분이 변화하는 것도 백내장 수술 전후 유의해서 해석을 해야 하는 부분일 수 있다.

Sim and Park²⁵은 빛간섭단층촬영에서 얻은 시신경유두함몰비가 검안경으로 측정한 것보다 대체로 크게 된다고 하였다. 수직함몰비는 0.09, 수평함몰비는 0.19 크게 측정되었다고 하였고 보고에서는 ROC Curve상 빛간섭단층촬영 영검사가 검안경보다 높은 판별력을 보였다고 하였으나 Greaney et al²⁸이 보고하였듯이 어떤 진단기기도 숙련된 전문가의 시신경 유두의 여러 소견을 종합한 검안경 검사보다 높은 판별력을 가질 수 없고, 한 가지 검사에 전적으로 의존하는 것이 아니라 여러 진단기기를 종합적으로 사용하는 것이 판별력을 높이는데 도움을 준다고 한계점을 시사하였다. 이번 연구 결과를 토대로 살펴보면 백내장이 있는 경우 시신경유두함몰비 또한 약간 크게 측정될 수 있어 결과 해석시 유의할 필요가 있다.

이러한 백내장으로 인한 변화가 있어 수술 전, 후 검사시 여러 가지를 고려해야 하는데 이를 극복하기 위한 노력도 진행되고 있다. 백내장으로 인한 저평가를 극복하기 위해 Kok et al²⁴은 광학적 밀도를 측정하여 이와 Cirrus OCT, 3D OCT-1000 mark II 사이의 제한적인 선형 관계가 있음을 보고하고 추후에는 이를 더욱 연구하여 예측치를 얻어낼 수 있게 될 것을 조심스럽게 전망하였다.

기존 보고에 나와있는 것처럼 변화량에 영향을 주는 인자들을 알아보기 위해 상관분석을 실시하였다(Table 4, 5). 기존보고에서는 수술 전 신호강도가 망막신경섬유 두께 평균 변화량에 영향을 주는 인자로 되어 있었는데 이번 연구에서는 통계적 유의성을 얻을 수 없었다. 이는 이번 연구 대상이 대부분 6 미만으로 6 이상의 고신호강도가 포함되지 않고 대상군이 적어서 이렇게 나타나는 것으로 생각된다. 시신경관련 지표들과 상관분석을 실시하였는데 신호강도변화만이 시신경유두면적 변화와 보통 정도의 음의 상관관계를 보이고 있었다. Aydin et al²⁹이 녹내장 수술 후 망막신경섬유 두께 변화를 본 연구에서 30% 이상 안압변화와 망막신경섬유 두께 변화가 음의 상관관계가 있다고 보았던 것처럼 안압 변화가 빛간섭단층촬영 관련 인자의 변

형을 줄 수 있다는 것을 시사하는 소견이 나타날 것을 예상 하였으나, 이번 연구에서 안압 변동이 1.28 ± 2.20 mmHg 정도로 적게 변동하여 유의한 변화가 나타나지 않았다. 안압변화가 클 경우에는 각막 등 안구 구조의 변형이 동반되어 시신경유두 관련 지표도 변화될 가능성이 있어 추후 후속연구에서 안압변화가 큰 안내 수술의 경우에는 어떤 상관관계가 있는지 확인해 볼 필요할 있을 것이다.

본 연구는 국내에서 백내장 수술 전후의 변화를 Cirrus OCT로 망막신경섬유층 분석과 함께 시신경유두 분석을 같이 하여 차이를 확인했다는 측면에서 의의를 둘 수 있다. 하지만 몇 가지 한계점이 나타나고 있다. 각막 난시의 경우 정도가 큰 경우 시신경유두와 테면적이 더 크게, 이측, 상이측, 하이측의 망막신경섬유층두께가 얇게 측정되는 점이 있어 백내장 수술 전후 난시 변화에 의한 오류가 발생할 수 있는데 이를 충분히 연구에 고려하지 못하였다.³⁰ 하지만 개개의 사례에서 각막 난시가 큰 폭으로 증가하지는 않아 미치는 영향은 적을 것으로 보인다. 또 다른 한계점은 백내장 수술 후 1달 정도에 측정을 하였다는 점이다. 이 시기에는 수술 후 염증 반응 등으로 인한 망막 부종 등의 영향을 완전히 배제할 수 없어 더 장기간의 관찰이 필요하다. 추후 후속연구에서는 인공수정체의 종류와 도수 차이에 따른 변화도 고려해야 할 필요가 있다. 일반적으로 안축장의 경우 어느 정도 영향을 줄 수 있다고 이야기 되는데 인공수정체의 빛의 양상이 바뀌기 때문에 그 정도는 작을 수 있으나 종류, 도수, 수차 등을 고려할 필요가 있다. 녹내장 유무에 따른 차이도 더 살펴볼 필요가 있다. 기존 보고에서는 녹내장이 백내장과 같이 있는 눈과 백내장만 있는 눈으로 나눈 군 사이에서 망막신경섬유층 두께의 차이가 통계적으로 유의하지는 않았고 다변량분석시 수술 전 안압, 변화된 안압 등은 망막신경섬유층 두께 변화와 상관관계가 유의하지 않았고 수술 전 신호강도만이 유의하다고 하였다.²² 하지만 단기간의 변화 아닌 장기간의 변화에서는 백내장 수술 전후 변화된 안압, 눈 구조, 형태의 변화로 인한 차이가 있을 수 있어 장기간 고려해서 분석할 필요가 있다. 마지막으로 표본수가 적어 검증, 예측력이 낮아진다는 점이 있어, 이번 연구에서는 분석시 비모수적인 분석방법으로 통계적 의의를 찾았고 추후에는 더 많은 수의 표본을 확보할 예정이다.

이번 연구에서 빛간섭단층촬영시 시신경과 관련된 각종 지표가 백내장 수술 전후로 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 백내장으로 인해 시신경 유두 주위 망막신경섬유층 측정이 원래보다 낮게 측정되고 이것이 녹내장 진단, 평가시 고려되어야 한다는 점을 다시 확인하였고, 시신경 관련 다른 지표들도 통계적으로 유의할 수준의 변화가 있어 녹내장 관련 진료시 반영되어야 한다는 점을 확인하였다. 객관적인

분석을 위해 빛간섭단층촬영으로만 분석하였지만 외래진료시 세극등을 이용한 시신경 검진시에도 상의, 흐림, 왜곡으로 인해 시신경유두 함몰비가 과대, 과소평가될 가능성을 항상 염두에 두어야 할 것이다.

REFERENCES

- 1) Quigley HA, Addicks EM, Green WR, Maumenee AE. Optic nerve damage in human glaucoma. II. The site of injury and susceptibility to damage. *Arch Ophthalmol* 1981;99:635-49.
- 2) Weinreb RN, Shakiba S, Zangwill L. Scanning laser polarimetry to measure the nerve fiber layer of normal and glaucomatous eyes. *Am J Ophthalmol* 1995;119:627-36.
- 3) Schuman JS, Hee MR, Puliafito CA, et al. Quantification of nerve fiber layer thickness in normal and glaucomatous eyes using optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 1995;113:586-96.
- 4) Hood DC, Kardon RH. A framework for comparing structural and functional measures of glaucomatous damage. *Prog Retin Eye Res* 2007;26:688-710.
- 5) Budenz DL, Chang RT, Huang X, et al. Reproducibility of retinal nerve fiber thickness measurements using the stratus OCT in normal and glaucomatous eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:2440-3.
- 6) 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.
- 7) Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254:1178-81.
- 8) Hee MR, Izatt JA, Swanson EA, et al. Optical coherence tomography of the human retina. *Arch Ophthalmol* 1995;113:325-32.
- 9) 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.
- 10) Wollstein G, Schuman JS, Price LL, et al. Optical coherence tomography longitudinal evaluation of retinal nerve fiber layer thickness in glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2005;123:464-70.
- 11) Sakata LM, Deleon-Ortega J, Sakata V, Girkin CA. Optical coherence tomography of the retina and optic nerve - a review. *Clin Experiment Ophthalmol* 2009;37:90-9.
- 12) Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, et al. Evaluation of retinal nerve fiber layer progression in glaucoma: a study on optical coherence tomography guided progression analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:217-22.
- 13) van Velthoven ME, Faber DJ, Verbraak FD, et al. Recent developments in optical coherence tomography for imaging the retina. *Prog Retin Eye Res* 2007;26:57-77.
- 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.
- 15) Stein DM, Wollstein G, Ishikawa H, et al. Effect of corneal drying on optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2006;113:985-91.
- 16) Savini G, Zanini M, Barboni P. Influence of pupil size and cataract on retinal nerve fiber layer thickness measurements by Stratus OCT. *J Glaucoma* 2006;15:336-40.

- 17) Smith M, Frost A, Graham CM, Shaw S. Effect of pupillary dilatation on glaucoma assessments using optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol* 2007;91:1686-90.
- 18) 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.
- 19) 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.
- 20) Budenz DL, Anderson DR, Varma R, et al. Determinants of normal retinal nerve fiber layer thickness measured by Stratus OCT. *Ophthalmology* 2007;114:1046-52.
- 21) Sánchez-Cano A, Pablo LE, Larrosa JM, Polo V. The effect of phacoemulsification cataract surgery on polarimetry and tomography measurements for glaucoma diagnosis. *J Glaucoma* 2010;19:468-74.
- 22) 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.
- 23) Savini G, Zanini M, Carelli V, et al. Correlation between retinal nerve fibre layer thickness and optic nerve head size: an optical coherence tomography study. *Br J Ophthalmol* 2005;89:489-92.
- 24) Kok PH, van den Berg TJ, van Dijk HW, et al. The relationship between the optical density of cataract and its influence on retinal nerve fibre layer thickness measured with spectral domain optical coherence tomography. *Acta Ophthalmol* 2013;91:418-24.
- 25) Sim JO, Park CK. Optic nerve head analysis obtained by optical coherence tomography for the diagnosis of glaucoma in Koreans. *J Korean Ophthalmol Soc* 2004;45:1885-92.
- 26) Iliev ME, Meyenberg A, Garweg JG. Morphometric assessment of normal, suspect and glaucomatous optic discs with Stratus OCT and HRT II. *Eye (Lond)* 2006;20:1288-99.
- 27) Schuman JS, Wollstein G, Farra T, et al. Comparison of optic nerve head measurements obtained by optical coherence tomography and confocal scanning laser ophthalmoscopy. *Am J Ophthalmol* 2003;135:504-12.
- 28) Greaney MJ, Hoffman DC, Garway-Heath DF, et al. Comparison of optic nerve imaging methods to distinguish normal eyes from those with glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:140-5.
- 29) Aydin A, Wollstein G, Price LL, et al. Optical coherence tomography assessment of retinal nerve fiber layer thickness changes after glaucoma surgery. *Ophthalmology* 2003;110:1506-11.
- 30) Liu L, Zou J, Huang H, et al. The influence of corneal astigmatism on retinal nerve fiber layer thickness and optic nerve head parameter measurements by spectral-domain optical coherence tomography. *Diagn Pathol* 2012;7:55.

=ABSTRACT=

Changes in Optic Nerve Parameter Measurements on Spectral-Domain Optical Coherence Tomography, after Cataract Surgery

Kyung Sik Lee, MD¹, Yong Min Kim, MD², Ji Hyun Kim, MD², Ji Min Ahn, MD², Woo Suk Chung, MD²,
Jung Bum Choi, MD², Kyoung Soo Park, MD²

*Department of Ophthalmology, Yonsei University College of Medicine¹, Seoul, Korea
Siloam Eye Hospital², Seoul, Korea*

Purpose: To assess changes in peripapillary retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness and optic nerve head parameters after cataract surgery by using spectral-domain optical coherence tomography (OCT).

Methods: Twenty-nine eyes of 26 patients, who underwent cataract surgery, were imaged with spectral-domain OCT before and after surgery to measure peripapillary RNFL thickness and optic nerve head parameters, signal strength (SS), quadrant, 12 clock-hour RNFL thickness, rim area, disc area, cup/disc area ratio, vertical cup/disc ratio, and cup volume.

Results: The postoperative RNFL thickness and SS were higher than before surgery ($p < 0.05$). Regarding optic nerve head parameters, rim area was $0.07 \pm 0.10 \text{ mm}^2$ higher than before surgery and disc area, cup/disc area ratio, vertical cup/disc ratio, cup volume were $0.07 \pm 0.15 \text{ mm}^2$, 0.04 ± 0.04 , 0.03 ± 0.05 , $0.04 \pm 0.06 \text{ mm}^3$, respectively, lower than before surgery ($p < 0.05$).

Conclusions: Cataracts may decrease peripapillary RNFL thickness measurement and SS on OCT scans and change other optic nerve head parameters. Peripapillary RNFL thickness and optic nerve head parameter measurements should be interpreted with caution in eyes with significant cataracts.

J Korean Ophthalmol Soc 2013;54(10):1573-1580

Key Words: Cataract surgery, Optical coherence tomography, Optic nerve

Address reprint requests to **Kyoung Soo Park, MD**

Siloam Eye Hospital

#181 Deungchon-ro, Gangseo-gu, Seoul 157-836, Korea

Tel: 82-2-2650-0880, Fax: 82-2-2650-0895, E-mail: march789@siloam.co.kr