빛간섭단층혈관조영술을 이용한 백내장수술 후 황반 모세혈관총 분석

Analysis of Macular Capillary Plexuses after Cataract Surgery via Optical Coherence Tomography Angiography

성수민 · 김종현 · 이규원 · 강현구

Su Min Sung, MD, Jong Heon Kim, MD, Kyoo Won Lee, MD, PhD, Hyun Gu Kang, MD, PhD

제일안과병원

Cheil Eye Hospital, Daegu, Korea

Purpose: We used optical coherence tomography angiography (OCTA) to evaluate changes in the vessel densities of macular capillary plexuses after cataract surgery.

Methods: We performed a retrospective chart review of 24 eyes of 24 cataract patients who underwent phacoemulsification cataract surgery from July 2018 to June 2019. The changes in vessel density (VD) in the macular superficial capillary plexus (SCP), the deep capillary plexus (DCP), inside the disc, and in the peripapillary area and foveal avascular zone (FAZ), were analyzed on OCTA images obtained preoperatively and at 1 week, and 1, 3, and 6 months, postoperatively.

Results: The VDs of the foveal SCP and DCP increased significantly from 15.42 ± 6.61 and $28.43 \pm 7.62\%$ preoperatively to 17.20 ± 6.21 and $30.52 \pm 7.06\%$ at 6 months postoperatively ($p < 0.001$, $p = 0.001$). The VDs of the parafoveal SCP and DCP increased significantly from 47.28 ± 5.76 and $53.06 \pm 3.89\%$ preoperatively to 50.34 ± 5.00 and $53.90 \pm 4.20\%$ at 6 months postoperatively ($p = 0.002$, $p = 0.014$). The VDs of the perifoveal SCP and DCP increased significantly from 45.20 ± 5.01 and $46.62 \pm 5.89\%$ preoperatively to 48.52 ± 4.32 and $50.96 \pm 5.57\%$ at 6 months postoperatively ($p < 0.001$, $p = 0.002$). The VDs of the area inside the disc, and of the peripapillary area and FAZ, did not change significantly ($p = 0.068$, 0.332 , and 0.206 , respectively).

Conclusions: After cataract surgery, the VDs of the SCP and DCP increased significantly at 1 week, and 1, 3, and 6 months, postoperatively.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(11):1288-1301

Keywords: Cataract surgery, Foveal avascular zone, Optical coherence tomography angiography, Retinal vessels, Scan quality index

■ Received: 2020. 4. 17.

■ Revised: 2020. 6. 15.

■ Accepted: 2020. 10. 19.

■ Address reprint requests to **Hyun Gu Kang, MD, PhD**
Cheil Eye Hospital, #1 Ayang-ro, Dong-gu, Daegu 41196, Korea
Tel: 82-53-959-1751, Fax: 82-53-959-1758
E-mail: flowerchild03@hanmail.net

* This study was presented as a poster at the 122th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2019.

* Conflicts of Interest: The authors have no conflicts to disclose.

백내장은 실명과 시력손상의 주요 원인이며, 초음파수정체유화술을 통한 백내장 제거는 수술 후 대다수의 환자에서 시력을 향상시키는 가장 흔하게 시행되는 안과적 술기이다.^{1,2} 백내장수술은 망막에도 영향을 미치는데, 혈액망막장벽의 결함을 가져와 합병증으로 낭포황반부종이 생길 수 있으며, 빛간섭단층촬영(optical coherence tomography, OCT) 검사 결과 백내장수술 후 황반두께의 유의미한 증가가 나타나는 것이 확인되었다.^{3,4} 또한 백내장수술 후 망막신경섬유

층의 두께 및 맥락막의 두께가 증가함이 보고되었다.⁵⁻⁷ 한편 백내장수술 후 안압 감소를 통해 주로 맥락막혈류로부터 오는 박동안혈류와 박동용적이 증가되는 이로운 영향이 보고되었는데,^{8,9} 백내장수술이 망막혈류에 미치는 영향에 대해서는 확실히 밝혀진 바 없다.

빛간섭단층혈관조영술(optical coherence tomography angiography)은 빠르게 반복되는 B스캔을 통해 혈관내 적혈구의 움직임을 감지하여, 형광안저혈관조영술과는 달리 조영제의 사용 없이 비침습적으로 망막과 맥락막의 혈류를 영상화한다.¹⁰ 황반 모세혈관층은 표층과 심부로 이루어지며, 표층 모세혈관층(superficial capillary plexus, SCP)은 내경계막(internal limiting membrane)과 내망상층(inner plexiform layer)의 후경계부 사이에 위치하고 심부 모세혈관층(deep capillary plexus, DCP)은 내망상층의 후경계부와 외망상층(outer plexiform layer)의 후경계부 사이에 위치한다.¹⁰ 빛간섭단층혈관조영술은 내부의 영상처리 알고리즘을 통하여 중심오목무혈관부위(foveal avascular zone, FAZ)의 면적을 구하고, 황반 모세혈관층의 구조를 표층과 심부로 분리하여 각각의 혈관밀도(vessel density) 및 관류밀도(perfusion density)를 정량적으로 분석할 수 있다.^{11,12} 이러한 빛간섭단층혈관조영술을 이용하여 백내장수술 후 황반 혈관 구조의 변화를 연구한 결과, Zhao et al¹³은 백내장수술 후 발생한 중심오목부근 및 중심오목주위 혈관밀도 증가가 3개월 뒤 유지되었으며, FAZ의 면적은 감소하였음을 보고하였다. Zhou et al¹⁴은 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 SCP와 시신경유두주위의 혈관밀도 및 관류밀도가 백내장수술 1주 후, 1개월 후에 증가하였음을 보고하였다. 당뇨황반부종, 망막정맥폐쇄 환자에서는 황반 미세혈류의 개선이 중심시력의 향상에 큰 영향을 줄 수 있는 중요한 요인으로 보고되었다.^{15,16} 하지만 백내장수술 후 발생한 이런 단기간의 변화가 장기적으로 지속하는 지에 대해서는 알려진 바 없다. 또한 백내장수술 후 황반에 나타나는 이러한 변화들의 기전에 대해서도 정확히 확립된 바 없다.

본 연구는 백내장수술 후 6개월 동안 황반의 표층 및 심부 모세혈관층, 시신경유두내, 시신경유두주위 각각의 혈관밀도와 FAZ 면적의 시간에 따른 변화를 빛간섭단층혈관조영술을 이용하여 정량적으로 분석하였다. 또한 백내장수술 후 황반 모세혈관층 혈관밀도 변화량과 관계가 있는 인자를 분석하여 백내장수술이 황반 혈류 변화를 일으키는 기전의 이해에 도움이 되고자 하였다.

대상과 방법

본 연구는 2018년 7월부터 2019년 6월까지 본원에서 노

년 백내장으로 진단받고 백내장수술을 받은 24명 24안을 대상으로 의무기록을 통한 후향적 연구를 진행하였다. 본 연구는 헬싱키선언을 준수하였고, 본원 연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인(승인 번호: 2019-3)을 받아 진행하였다.

환자들은 한 명의 동일한 술자에 의해 단순 수정체초음파유화술 및 후방인공수정체 삽입술을 받았으며, 성공적으로 수정체낭 내에 인공수정체가 삽입되었고 6개월 이상 경과 관찰한 경우를 연구 대상으로 하였다. 이전의 눈 외상 또는 안과적 수술의 기왕력이 있거나, 망막질환, 녹내장 및 포도막염 등 다른 안과적 질환이 동반된 경우는 연구에서 제외되었다. 안압이 22 mmHg 이상인 경우, 안축장이 20.0 mm 미만 또는 25.0 mm 초과인 경우 연구 대상에서 제외되었다. 검사 협조도가 불량하거나 빛간섭단층혈관조영술 검사 결과 신호강도(scan quality index, SQI)가 4/10 미만인 경우 연구 대상에서 제외되었다.

모든 환자들을 대상으로 세극등현미경검사, 안저검사, 최대교정시력검사, 자동각막곡률계(Auto Ref-Keratometer RK-F2; Canon, Inc., Tokyo, Japan)를 사용한 구면렌즈대응치 측정, 비접촉안압계(Full auto tonometer TX-F; Canon, Inc., Tokyo, Japan)를 사용한 안압 측정, 빛간섭단층혈관조영술(RTVue XR Avanti[®]; Optovue, Inc., Fremont, CA, USA)을 시행하였다. 각각의 검사는 모두 백내장수술하기 전, 수술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 시행하였다. 술 전 백내장의 진행 정도는 Lens Opacities Classification System (LOCS) III에 따른 분류를 시행하였으며, 술 전 안축장을 IOL Master[®] (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)를 사용하여 측정하였다. 황반 SCP와 DCP의 혈관밀도 및 망막두께, 시신경유두내 혈관밀도, 시신경유두주위 혈관밀도, FAZ 면적 변화는 하나의 빛간섭단층혈관조영술 기계에 의해 같은 날 동시에 측정되었으며 황반영역은 중심오목을 기준으로 6.0×6.0 mm 영역을, 시신경유두영역은 시신경유두를 기준으로 4.5×4.5 mm 영역을 촬영하였다. 내장된 소프트웨어(RTVue XR, version 2018.1.0.33; Optovue, Inc.)를 통해 정면 빛간섭단층혈관조영 영상에서 황반 SCP와 DCP, 시신경유두내, 시신경유두주위의 혈관밀도(vessel density, %), 망막두께(μ m), FAZ의 면적(mm^2), 망막과 시신경유두의 SQI를 자동으로 측정하였다.¹⁷ 망막은 자동으로 SCP와 DCP로 세분화되었으며 SCP는 내경계막에서 내망상층 9 μ m 아래까지 포함하도록 하였고, DCP는 내망상층 9 μ m 아래부터 외망상층 9 μ m 위까지 포함하도록 하였다. 이때 황반영역은 중심오목(직경 1 mm), 중심오목부근(직경 3 mm), 중심오목주위(직경 6 mm)로 나누어져 각각의 영역별 SCP와 DCP 혈관밀도 및 영역별 평균 망막두께가 측정되었다. 망막두께의

측정은 각 영역별 평균 전체 망막층(total retinal layer, TRL) 두께를 측정하였으며, 전체 망막층은 내경계막에서 망막색소상피(retinal pigment epithelium)까지 포함하도록 하였다. 시신경유두영역은 내경계막에서 망막신경섬유층 후방 경계 사이에 있는 혈관밀도를 측정하였는데, 시신경유두 내와 시신경유두 경계에서 연장되는 750 μ m 너비의 타원형 고리 영역으로 정의된 시신경유두주위의 방사모양 유두주위 모세혈관(radial peripapillary capillary, RPC) 혈관밀도를 측정하였다.¹⁸

백내장수술은 0.5% 푸로파라카인염산염(Alcaine[®]; Alcon Laboratories, Forth Worth, TX, USA)을 이용한 점안마취 후

2.2 mm 크기의 투명 각막 절개를 가했으며 연속곡선수정체 낭원형절개술을 시행하였다. 이후 평형염액을 이용하여 수력분리술을 시행하였으며 Infinity Vision System (Alcon Laboratories, Forth Worth, TX, USA)을 사용하여 초음파수정체유화술을 시행하였다. 이어서 관류흡인기로 남은 피질을 제거하고 접는 인공수정체 enVista[®]MX60 (Bausch & Lomb, Rochester, NY, USA)를 후낭에 삽입하였다. 수술 후 처치는 동일하게 0.5% 레보플록사신(Cravit[®]; Santen Pharmaceutical Co., Ltd., Osaka, Japan)을 하루 4회, 0.1% 브롬페낙나트륨(Bronuck[®]; Taejoon Pharm., Seoul, Korea)을 하루 2회, 수술 후 4주 동안 점안하였다.

통계 분석은 SPSS software ver. 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 백내장수술 후 시간에 따른 각 영역의 혈관밀도, FAZ 면적, 각 영역의 망막두께, 최대교정시력, 망막과 시신경유두의 SQI, 구면렌즈대응치, 안압 변화의 유의성 검정을 위해서 프리드만 검정(Friedman test)을 이용하였다. 또한 백내장수술 후 황반 SCP, DCP의 혈관밀도 변화와 SQI, 구면렌즈대응치, 안압의 변화, 술 전 백내장의 진행 정도, 망막두께 변화, 최대교정시력의 변화 사이 상관관계를 알아보기 위해 스피어만 순위상관분석(Spearman rank correlation analysis)을 시행하였다. 또한 SQI 변화량, 망막두께 변화량, 백내장 진행 정도가 황반 SCP, DCP 혈관밀도 변화량에 영향을 미치는지 알아보기 위해 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 사용하였다. 모두 *p*-value가 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 정의하였다.

결 과

백내장수술을 받은 총 24명 24안을 연구 대상으로 포함 한 가운데, 대상 환자의 평균 연령은 66.50 $\pm$ 8.57세로, 남성

Table 1. Demographic characteristics and clinical features of the patients

Baseline characteristic	Value (n = 24)
Age (years)	66.50 $\pm$ 8.57
Sex (male:female)	10:14
Laterality (OD:OS)	11:13
Cataract grade (LOCS III)	
Cortical cataract	1.96 $\pm$ 1.33
Nuclear cataract	2.27 $\pm$ 1.32
Posterior subcapsular cataract	0.33 $\pm$ 0.76
BCVA (logMAR)	0.35 $\pm$ 0.13
Retina SQI	6.88 $\pm$ 1.15
Disc SQI	7.25 $\pm$ 1.26
Spherical equivalent (D)	0.38 $\pm$ 2.32
Axial length (mm)	23.34 $\pm$ 0.73
IOP (mmHg)	14.46 $\pm$ 3.07

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation or number unless otherwise indicated.

OD:OS = ocular dexter:ocular sinister; LOCS III = lens opacities classification system III; BCVA = best corrected visual acuity; logMAR = logarithm of minimal angle of resolution; SQI = scan quality index; D = diopters; IOP = intraocular pressure.

Table 2. Vessel density of macular capillary plexuses and foveal avascular zone at baseline and after cataract surgery

Variable	Preop	Postop 1 week	Postop 1 month	Postop 3 months	Postop 6 months	<i>p</i> -value*
VD (%)						
Fovea S	15.42 $\pm$ 6.61	17.84 $\pm$ 6.80	18.32 $\pm$ 5.58	17.15 $\pm$ 5.97	17.20 $\pm$ 6.21	<0.001
Fovea D	28.43 $\pm$ 7.62	30.95 $\pm$ 6.92	31.14 $\pm$ 6.18	29.88 $\pm$ 7.14	30.52 $\pm$ 7.06	0.001
Parafovea S	47.28 $\pm$ 5.76	50.83 $\pm$ 6.28	51.93 $\pm$ 4.60	50.32 $\pm$ 6.07	50.34 $\pm$ 5.00	0.002
Parafovea D	53.06 $\pm$ 3.89	53.54 $\pm$ 4.94	55.58 $\pm$ 3.67	53.05 $\pm$ 6.84	53.90 $\pm$ 4.20	0.014
Perifovea S	45.20 $\pm$ 5.01	48.52 $\pm$ 5.43	49.47 $\pm$ 4.93	48.36 $\pm$ 4.94	48.52 $\pm$ 4.32	<0.001
Perifovea D	46.62 $\pm$ 5.89	50.10 $\pm$ 7.08	53.16 $\pm$ 5.47	49.59 $\pm$ 8.70	50.96 $\pm$ 5.57	0.002
Inside disc	47.22 $\pm$ 4.57	50.08 $\pm$ 4.54	49.40 $\pm$ 4.63	48.59 $\pm$ 6.28	49.60 $\pm$ 4.93	0.068
Peripapillary	51.03 $\pm$ 4.06	50.68 $\pm$ 3.93	49.75 $\pm$ 4.14	50.25 $\pm$ 3.51	50.74 $\pm$ 3.64	0.332
FAZ (mm ²)	0.37 $\pm$ 0.12	0.35 $\pm$ 0.11	0.37 $\pm$ 0.10	0.35 $\pm$ 0.10	0.36 $\pm$ 0.11	0.206

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation. *Post hoc* analysis by Wilcoxon signed rank test.

VD = vessel density; S = superficial capillary plexus; D = deep capillary plexus; FAZ = foveal avascular zone.

*Friedman test.

이 10명, 여성이 14명이었다. 술 전 백내장의 진행 정도는 LOCS III 분류상, 평균 피질백내장은 1.96 ± 1.33 , 핵백내장은 2.27 ± 1.32 , 후낭하백내장은 0.33 ± 0.76 으로 관찰되었

으며 최대교정시력은 평균 0.35 ± 0.13 logarithm of minimal angle of resolution (logMAR)이었다. 술 전 빛간섭단층 혈관조영술검사상 망막 SQI는 평균 6.88 ± 1.15 , 시신경유

Table 3. Values of parameters at baseline and after cataract surgery

Variable	Preop	Postop 1 week	Postop 1 month	Postop 3 months	Postop 6 months	p-value*
Retinal thickness (μ m)						
Fovea	240.13 ± 20.78	241.67 ± 21.70	247.25 ± 22.22	251.83 ± 23.12	250.58 ± 22.63	<0.001
Parafovea	310.75 ± 13.04	315.29 ± 14.25	320.71 ± 14.98	324.04 ± 15.22	322.96 ± 14.67	<0.001
Perifovea	272.75 ± 13.55	275.88 ± 14.23	281.29 ± 14.83	284.42 ± 15.29	282.46 ± 14.74	<0.001
BCVA (logMAR)	0.35 ± 0.13	0.16 ± 0.14	0.12 ± 0.12	0.14 ± 0.13	0.16 ± 0.14	<0.001
Retina SQI	6.88 ± 1.15	7.96 ± 0.91	8.29 ± 0.81	7.79 ± 1.25	7.96 ± 1.00	<0.001
Disc SQI	7.25 ± 1.26	8.25 ± 1.03	8.58 ± 0.72	8.21 ± 0.88	8.33 ± 0.82	<0.001
SE (D)	0.38 ± 2.32	-0.04 ± 0.74	-0.02 ± 0.55	-0.04 ± 0.57	-0.01 ± 0.58	0.021
IOP (mmHg)	14.46 ± 3.07	11.02 ± 2.89	11.57 ± 2.86	11.84 ± 2.69	11.68 ± 3.01	<0.001

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation. *Post hoc* analysis by Wilcoxon signed rank test.

BCVA = best corrected visual acuity; logMAR = logarithm of minimal angle of resolution; SQI = scan quality index; SE = spherical equivalent; D = diopters; IOP = intraocular pressure.

*Friedman test.

Figure 1. Scatter plots for correlation between change in scan quality index (Δ SQI) and change in vessel density (Δ VD) 6 months after cataract surgery. There was significant correlation between Δ SQI and Δ VD. (A) Correlation between Δ SQI and Δ VD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = 0.425$, $p = 0.038$). (B) Correlation between Δ SQI and Δ VD of fovea deep capillary plexus (DCP) ($\rho = 0.509$, $p = 0.011$). (C) Correlation between Δ SQI and Δ VD of parafovea SCP ($\rho = 0.897$, $p < 0.001$). (D) Correlation between Δ SQI and Δ VD of parafovea DCP ($\rho = 0.448$, $p = 0.028$). (E) Correlation between Δ SQI and Δ VD of perifovea SCP ($\rho = 0.779$, $p < 0.001$). (F) Correlation between Δ SQI and Δ VD of perifovea DCP ($\rho = 0.638$, $p = 0.001$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. ρ = coefficient of correlation.

두 SQI는 평균 7.25 ± 1.26 이었다. 술 전 평균 구면렌즈대응치는 0.38 ± 2.32 diopters (D)이었으며 안축장은 23.34 ± 0.73 mm였다. 술 전 평균 안압은 14.46 ± 3.07 mmHg이었다(Table 1).

중심오목 SCP의 혈관밀도는 백내장수술 전과 수술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 각각 $15.42 \pm 6.61\%$, $17.84 \pm 6.80\%$, $18.32 \pm 5.58\%$, $17.15 \pm 5.97\%$, $17.20 \pm 6.21\%$ 였으며, 중심오목 DCP의 혈관밀도는 $28.43 \pm 7.62\%$, $30.95 \pm 6.92\%$, $31.14 \pm 6.18\%$, $29.88 \pm 7.14\%$, $30.52 \pm 7.06\%$ 로 나타나 중심오목 SCP와 DCP의 혈관밀도는 수술 전과 비교하여 백내장수술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 모두 유의한 증가를 보였다($p < 0.001$, $p = 0.001$). 중심오목부근 SCP의 혈관밀도는 술 전과 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 각각 $47.28 \pm 5.76\%$, $50.83 \pm 6.28\%$, $51.93 \pm 4.60\%$, $50.32 \pm 6.07\%$, $50.34 \pm 5.00\%$ 였으며, 중심오목부근 DCP의 혈관밀도는 $53.06 \pm 3.89\%$, $53.54 \pm 4.94\%$, $55.58 \pm 3.67\%$, $53.05 \pm 6.84\%$, $53.90 \pm 4.20\%$ 로 중심오목부근 SCP와 DCP의 혈

관밀도 또한 술 전과 비교하여 백내장수술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 모두 유의한 증가를 보였다($p = 0.002$, $p = 0.014$). 중심오목주위 SCP의 혈관밀도는 술 전과 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 각각 $45.20 \pm 5.01\%$, $48.52 \pm 5.43\%$, $49.47 \pm 4.93\%$, $48.36 \pm 4.94\%$, $48.52 \pm 4.32\%$ 였으며, 중심오목주위 DCP의 혈관밀도는 $46.62 \pm 5.89\%$, $50.10 \pm 7.08\%$, $53.16 \pm 5.47\%$, $49.59 \pm 8.70\%$, $50.96 \pm 5.57\%$ 를 보여 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도 또한 술 전과 비교하여 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 유의한 증가를 나타냈다($p < 0.001$, $p = 0.002$). 시신경유두내 혈관밀도는 백내장수술 전과 수술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 각각 $47.22 \pm 4.57\%$, $50.08 \pm 4.54\%$, $49.40 \pm 4.63\%$, $48.59 \pm 6.28\%$, $49.60 \pm 4.93\%$ 였으며, 시신경유두주위 혈관밀도는 각각 $51.03 \pm 4.06\%$, $50.68 \pm 3.93\%$, $49.75 \pm 4.14\%$, $50.25 \pm 3.51\%$, $50.74 \pm 3.64\%$ 로 나타나 통계적으로 유의한 변화가 관찰되지 않았다($p = 0.068$, $p = 0.332$). FAZ 면적은 술 전 0.37 ± 0.12 mm²였으며, 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에

Figure 2. Scatter plots for correlation between change in spherical equivalent (Δ SE) and change in vessel density (Δ VD) 6 months after cataract surgery. There was no significant correlation between Δ SE and Δ VD. (A) Correlation between Δ SE and Δ VD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = -0.370$, $p = 0.099$). (B) Correlation between Δ SE and Δ VD of fovea deep capillary plexus (DCP) ($\rho = -0.105$, $p = 0.651$). (C) Correlation between Δ SE and Δ VD of parafovea SCP ($\rho = 0.317$, $p = 0.161$). (D) Correlation between Δ SE and Δ VD of parafovea DCP ($\rho = 0.250$, $p = 0.275$). (E) Correlation between Δ SE and Δ VD of perifovea SCP ($\rho = 0.422$, $p = 0.056$). (F) Correlation between Δ SE and Δ VD of perifovea DCP ($\rho = 0.321$, $p = 0.156$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. ρ = coefficient of correlation.

각각 $0.35 \pm 0.11 \text{ mm}^2$, $0.37 \pm 0.10 \text{ mm}^2$, $0.35 \pm 0.10 \text{ mm}^2$, $0.36 \pm 0.11 \text{ mm}^2$ 로 유의한 변화는 관찰되지 않았다 ($p=0.206$) (Table 2).

중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 각 영역별 평균 망막두께는 백내장수술 전 각각 $240.13 \pm 20.78 \mu\text{m}$, $310.75 \pm 13.04 \mu\text{m}$, $272.75 \pm 13.55 \mu\text{m}$ 에서 1주 후 $241.67 \pm 21.70 \mu\text{m}$, $315.29 \pm 14.25 \mu\text{m}$, $275.88 \pm 14.23 \mu\text{m}$, 1개월에 $247.25 \pm 22.22 \mu\text{m}$, $320.71 \pm 14.98 \mu\text{m}$, $281.29 \pm 14.83 \mu\text{m}$, 3개월에 $251.83 \pm 23.12 \mu\text{m}$, $324.04 \pm 15.22 \mu\text{m}$, $284.42 \pm 15.29 \mu\text{m}$, 6개월에 $250.58 \pm 22.63 \mu\text{m}$, $322.96 \pm 14.67 \mu\text{m}$, $282.46 \pm 14.74 \mu\text{m}$ 로 모두 유의하게 증가하였다(모두 $p<0.001$). 최대교정시력은 술 전 평균 $0.35 \pm 0.13 \text{ logMAR}$ 에서 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 각각 $0.16 \pm 0.14 \text{ logMAR}$, $0.12 \pm 0.12 \text{ logMAR}$, $0.14 \pm 0.13 \text{ logMAR}$, $0.16 \pm 0.14 \text{ logMAR}$ 로 유의하게 증가하였다($p<0.001$). 망막 SQI와 시신경유두 SQI는 술 전 평균 6.88 ± 1.15 , 7.25 ± 1.26 에서 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 망막 SQI는 7.96 ± 0.91 , 8.29 ± 0.81 ,

7.79 ± 1.25 , 7.96 ± 1.00 , 시신경유두 SQI는 8.25 ± 1.03 , 8.58 ± 0.72 , 8.21 ± 0.88 , 8.33 ± 0.82 로 모두 유의하게 증가하였다($p<0.001$, $p<0.001$). 평균 구면렌즈대응치는 술 전 $0.38 \pm 2.32 \text{ D}$ 에서 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 각각 $-0.04 \pm 0.74 \text{ D}$, $-0.02 \pm 0.55 \text{ D}$, $-0.04 \pm 0.57 \text{ D}$, $-0.01 \pm 0.58 \text{ D}$ 로 유의하게 감소하였다($p=0.021$). 평균 안압은 술 전 $14.46 \pm 3.07 \text{ mmHg}$ 에서 수술 1주 후 $11.02 \pm 2.89 \text{ mmHg}$ 으로 감소하였으며, 술 후 1개월, 3개월, 6개월에도 각각 $11.57 \pm 2.86 \text{ mmHg}$, $11.84 \pm 2.69 \text{ mmHg}$, $11.68 \pm 3.01 \text{ mmHg}$ 으로 유의하게 감소된 채 유지되었다($p<0.001$) (Table 3).

백내장수술 6개월 후 SQI 변화는 중심오목 SCP와 DCP 혈관밀도 변화, 중심오목부근 SCP와 DCP 혈관밀도 변화, 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도 변화와 각각 모두에서 통계학적으로 유의한 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(각각, Spearman correlation coefficient $\rho=0.425$, $\rho=0.509$, $\rho=0.897$, $\rho=0.448$, $\rho=0.779$, $\rho=0.638$; $p<0.05$ in all groups) (Fig. 1). 한편 백내장수술 6개월 후 구면렌즈대응

Figure 3. Scatter plots for correlation between change in intraocular pressure (ΔIOP) and change in vessel density (ΔVD) 6 months after cataract surgery. There was no significant correlation between ΔIOP and ΔVD . (A) Correlation between ΔIOP and ΔVD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = 0.311$, $p = 0.139$). (B) Correlation between ΔIOP and ΔVD of fovea deep capillary plexus (DCP) ($\rho = 0.088$, $p = 0.684$). (C) Correlation between ΔIOP and ΔVD of parafovea SCP ($\rho = 0.072$, $p = 0.739$). (D) Correlation between ΔIOP and ΔVD of parafovea DCP ($\rho = 0.093$, $p = 0.667$). (E) Correlation between ΔIOP and ΔVD of perifovea SCP ($\rho = 0.061$, $p = 0.777$). (F) Correlation between ΔIOP and ΔVD of perifovea DCP ($\rho = 0.004$, $p = 0.984$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. ρ = coefficient of correlation.

치의 변화와 중심오목 SCP와 DCP, 중심오목부근 SCP와 DCP, 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도 변화 사이에는 각각 유의한 상관관계가 없었다(각각, Spearman correlation coefficient $\rho = -0.370, -0.105, 0.317, 0.250, 0.422, 0.321$; $p > 0.05$ in all groups) (Fig. 2). 백내장수술 6개월 후 안압 변화와 중심오목 SCP와 DCP, 중심오목부근 SCP와 DCP, 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도 변화 사이 또한 각각 유의한 상관관계가 없었다(각각, Spearman correlation coefficient $\rho = 0.311, \rho = 0.088, \rho = 0.072, \rho = 0.093, \rho = 0.061, \rho = 0.004$; $p > 0.05$ in all groups) (Fig. 3). 술 전 백내장의 진행 정도는 후낭하백내장과 수술 1주 후 중심오목부근 DCP, 중심오목주위 DCP의 혈관밀도 변화, 피질백내장과 3개월 후 중심오목 SCP의 혈관밀도 변화 사이에는 유의한 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으나(각각, Spearman correlation coefficient $\rho = 0.420, \rho = 0.436, \rho = 0.433$; $p < 0.05$ in all groups), 그 외 나머지 영역에서는 1주, 1개월, 3개월, 6개월

에 혈관밀도 변화와 모두 유의한 상관관계가 없었다(각각, Spearman correlation coefficient, $p > 0.05$ in all groups) (Fig. 4-6). 백내장수술 후 각 영역별 평균 망막두께 변화는 수술 후 1주, 1개월, 3개월에 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 모든 영역에서 황반 SCP와 DCP 혈관밀도 변화와 유의한 상관관계가 없었다(각각, Spearman correlation coefficient; $p > 0.05$ in all groups). 6개월 후 중심오목 망막두께 변화와 중심오목 DCP 혈관밀도 변화 사이에는 유의한 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났으나(Spearman correlation coefficient $\rho = -0.572, p = 0.003$), 중심오목 SCP 혈관밀도 변화와는 유의한 상관관계가 없었으며 중심오목부근 SCP와 DCP 혈관밀도 변화, 중심오목주위 SCP와 DCP 혈관밀도 변화는 모두 각 영역의 망막두께 변화와 유의한 상관관계가 없었다(각각, Spearman correlation coefficient $\rho = -0.393, \rho = -0.310, \rho = -0.257, \rho = -0.140, \rho = -0.335$; $p > 0.05$ in all groups) (Fig. 7). 백내장수술 6개월 후 최대교정시력

Figure 4. Scatter plots for correlation between cortical cataract and change in vessel density (Δ VD) 6 months after cataract surgery. There was no significant correlation between cortical cataract and Δ VD. (A) Correlation between cortical cataract and Δ VD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = 0.179, p = 0.403$). (B) Correlation between cortical cataract and Δ VD of fovea deep capillary plexus (DCP) ($\rho = 0.148, p = 0.490$). (C) Correlation between cortical cataract and Δ VD of parafovea SCP ($\rho = -0.085, p = 0.693$). (D) Correlation between cortical cataract and Δ VD of parafovea DCP ($\rho = 0.159, p = 0.459$). (E) Correlation between cortical cataract and Δ VD of perifovea SCP ($\rho = -0.103, p = 0.631$). (F) Correlation between cortical cataract and Δ VD of perifovea DCP ($\rho = -0.011, p = 0.960$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. LOCS = Lens Opacities Classification System; ρ = coefficient of correlation.

변화와 중심오목 SCP와 DCP, 중심오목부근 SCP와 DCP, 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도 변화 사이 또한 각각 유의한 상관관계가 없었다(각각, Spearman correlation coefficient $\rho = -0.092$, $\rho = -0.239$, $\rho = -0.353$, $\rho = -0.064$, $\rho = -0.203$, $\rho = -0.165$; $p > 0.05$ in all groups) (Fig. 8).

백내장수술 후 황반 모세혈관총 혈관밀도 변화와 상관관계가 있는 것으로 나온 SQI 변화량, 망막두께 변화량, 백내장 진행 정도가 황반 SCP, DCP 혈관밀도 변화량에 영향을 미치는지 알아보기 위해 다중회귀분석을 시행한 결과, SQI 변화량만이 중심오목 SCP와 DCP, 중심오목부근 SCP와 DCP, 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도 변화에 유의한 연관성을 가지는 요인으로 나타났다(각각, Multiple regression analysis coefficient $B = 0.899$, $B = 1.089$, $B = 3.918$, $B = 2.063$, $B = 2.669$, $B = 4.354$; $p < 0.001$ in all groups) (Table 4).

고찰

본 연구에서는 빛간섭단층혈관조영술을 이용하여 백내장수술 후 황반 모세혈관총의 혈관밀도 변화와 FAZ 면적의 6개월간의 변화를 알아보고자 하였다. 본 연구 결과 백내장수술을 시행한 24안에서 황반 SCP와 DCP의 혈관밀도 모두 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 세 영역 전체에서 유의하게 증가하였으며 이러한 변화가 수술 후 6개월에도 유지되어 이전의 Zhao et al,¹³ Zhou et al¹⁴의 연구와 비교했을 때 더 오래 유지되는 모습을 나타냈다. 시신경유두내 및 시신경유두주위 혈관밀도는 유의미한 변화를 보이지 않았으며, 백내장수술 후 시신경유두주위 혈관밀도가 유의하게 증가한 Zhou et al¹⁴의 연구와는 다른 결과를 나타냈다. FAZ 면적은 유의한 변화가 관찰되지 않아 백내장수술 후 FAZ 면적이 유의하게 감소한 Zhao et al¹³의 연구와는 다른 결과를 나타냈다.

Figure 5. Scatter plots for correlation between nuclear cataract and change in vessel density (Δ VD) 6 months after cataract surgery. There was no significant correlation between nuclear cataract and Δ VD. (A) Correlation between nuclear cataract and Δ VD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = 0.021$, $p = 0.924$). (B) Correlation between nuclear cataract and Δ VD of fovea deep capillary plexus (DCP) ($\rho = 0.042$, $p = 0.846$). (C) Correlation between nuclear cataract and Δ VD of parafovea SCP ($\rho = 0.117$, $p = 0.585$). (D) Correlation between nuclear cataract and Δ VD of parafovea DCP ($\rho = 0.042$, $p = 0.846$). (E) Correlation between nuclear cataract and Δ VD of perifovea SCP ($\rho = 0.024$, $p = 0.912$). (F) Correlation between nuclear cataract and Δ VD of perifovea DCP ($\rho = 0.020$, $p = 0.925$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. LOCS = Lens Opacities Classification System; ρ = coefficient of correlation.

백내장수술 후 황반에 일어나는 변화들이 어떠한 기전으로 나타나는 지는 아직 명확하지 않지만 여러 가지 가설들이 제기되고 있다. Yu et al¹⁹의 연구 결과 백내장수술을 통한 수정체혼탁의 제거는 안구 움직임에 의한 측정 오류(motion artifact)를 감소시키고, 황반의 미세혈관들이 더 잘 시각화됨으로써 SQI를 증가시켜 SCP와 DCP의 관류 및 혈관밀도 증가에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으나 SQI의 증가에도 불구하고 FAZ 면적은 변화가 없었다. 안구 움직임에 의한 측정 오류는 불량한 시력과 불안정한 주시에 영향을 받으며, 수정체혼탁으로 인해 감소된 시력도 SQI에 영향을 줄 수 있다.^{20,21} 본 연구에서 빛간섭단층혈관조영술검사의 SQI는 백내장수술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 모두 유의하게 증가하였으며, 술 후 6개월의 SQI 증가는 황반 SCP와 DCP의 혈관밀도 증가와 유의한 양의 상관관계가 있었고, FAZ 면적은 SQI의 증가에도 불구하고

유의한 변화가 없었다. 또한 백내장수술 후 SQI 변화량, 망막두께 변화량, 백내장 진행 정도와 황반 모세혈관총 혈관밀도 변화량의 다중회귀분석 결과 SQI 변화만이 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도 변화에 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 그러므로 백내장수술 후 수정체혼탁의 제거를 통한 SQI의 증가가 술 후 측정된 황반 모세혈관총 혈관밀도의 증가에 유의한 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다. 하지만 SQI의 증가가 FAZ 경계 측정에는 영향을 미치지 않았을 것이다.

한편, 백내장수술 후 발생하는 구면렌즈대응치 변화에 의한 영향을 고려해 볼 수 있다. Li et al²²은 평균 -6 D 굴절 이상의 고도근시안과 정상안을 대상으로 황반 모세혈관총의 혈관밀도를 비교 분석해 본 결과, 정상안에 비해 고도근시안은 SCP와 DCP의 혈관밀도가 모두 감소하였으며, 구면렌즈대응치보다는 고도근시로 인해 안축장이 길어지고 망막

Figure 6. Scatter plots for correlation between posterior subcapsular cataract and change in vessel density (Δ VD) 6 months after cataract surgery. There was no significant correlation between posterior subcapsular cataract and Δ VD. (A) Correlation between posterior subcapsular cataract and Δ VD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = 0.097$, $p = 0.652$). (B) Correlation between posterior subcapsular cataract and Δ VD of fovea deep capillary plexus (DCP) ($\rho = 0.065$, $p = 0.764$). (C) Correlation between posterior subcapsular cataract and Δ VD of parafovea SCP ($\rho = 0.000$, $p = 1.000$). (D) Correlation between posterior subcapsular cataract and Δ VD of parafovea DCP ($\rho = 0.210$, $p = 0.325$). (E) Correlation between posterior subcapsular cataract and Δ VD of perfovea SCP ($\rho = 0.186$, $p = 0.385$). (F) Correlation between posterior subcapsular cataract and Δ VD of perfovea DCP ($\rho = 0.299$, $p = 0.156$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. LOCS = Lens Opacities Classification System; ρ = coefficient of correlation.

이 늘어나며 생긴 병적 변화에 의한 영향으로 보았다. 단, 정상안에서는 SCP와 DCP의 혈관밀도가 안축장이 아닌 구면렌즈대응치와 유의한 관계가 있는 것으로 보고하였다. Chen et al²³은 고도근시안을 대상으로 small incision lenticule extraction을 시행한 후 1일, 1주, 1개월 후의 망막의 혈관밀도 변화를 연구해본 결과 구면렌즈대응치는 1일, 1주, 1개월 후 모두 유의하게 증가하였지만, 중심오목부근과 중심오목주위 SCP와 DCP의 혈관밀도는 수술 후 1일에 감소하였다가 2주 후부터는 술 전과 같은 상태로 돌아왔으며 구면렌즈대응치와 망막혈관밀도는 유의한 관계가 없음을 보고하였다. 본 연구의 술 전 평균 안축장은 23.34 ± 0.73 mm, 평균 구면렌즈대응치는 0.38 ± 2.32 D로 고도근시의 병적 변화가 망막의 혈관밀도에 미치는 영향은 배제하였다. 본 연구 결과 구면렌즈대응치는 백내장수술 후 6개월에 -0.01 ± 0.58 D로 유의하게 감소하였으나($p=0.021$), 백내장수술 6개월 후의 구면렌즈대응치의 변화와 SCP와 DCP의 혈관

밀도 변화 사이에는 유의한 상관관계가 없었다.

Alaghaband et al²⁴에 따르면 백내장수술은 방수의 섬유유출률을 증가시켜 안압의 감소를 일으킨다고 한다. Weigert et al²⁵은 안저의 맥박 진폭이 안압 증가로 인해 감소함을 보고하였으며, Zhao et al¹³은 백내장수술 후 발생한 안압 감소가 황반의 혈류 변화에 영향을 끼쳤을 가능성을 제시하였다. Zhou et al¹⁴은 백내장수술 후 유의한 안압 감소를 확인하였으나 황반의 혈류 변화와 상관관계는 없었음을 보고하였다. 본 연구에서 백내장수술 후 평균 안압은 술 전 14.46 ± 3.07 mmHg에서 1주 후 11.02 ± 2.89 mmHg으로 유의하게 감소하였고 6개월 후에도 11.68 ± 3.01 mmHg으로 감소된 채 유지되었음을 확인하였다. 하지만 백내장수술 6개월 후 안압의 변화와 SCP와 DCP의 혈관밀도 변화 사이에는 유의한 상관관계가 없었다.

그 외에도, 백내장수술 후 염증 반응에 의한 영향을 생각해 볼 수 있다. 이전의 수정체 적출술을 시행한 쥐 연구에서

Figure 7. Scatter plots for correlation between change in retinal thickness (Δ retinal thickness) and change in vessel density (Δ VD) 6 months after cataract surgery. There was no significant correlation between Δ retinal thickness and Δ VD except in fovea deep capillary plexus (DCP). (A) Correlation between Δ retinal thickness and Δ VD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = -0.393$, $p = 0.058$). (B) Correlation between Δ retinal thickness and Δ VD of fovea DCP ($\rho = -0.572$, $p = 0.003$). There was significant correlation between Δ retinal thickness and Δ VD of fovea DCP. (C) Correlation between Δ retinal thickness and Δ VD of parafovea SCP ($\rho = -0.310$, $p = 0.140$). (D) Correlation between Δ retinal thickness and Δ VD of parafovea DCP ($\rho = -0.257$, $p = 0.226$). (E) Correlation between Δ retinal thickness and Δ VD of perifovea SCP ($\rho = -0.140$, $p = 0.514$). (F) Correlation between Δ retinal thickness and Δ VD of perifovea DCP ($\rho = -0.335$, $p = 0.109$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. ρ = coefficient of correlation.

술 후 interleukin-1 β , chemokine ligand 2와 같은 전염증성 유전자의 발현이 증가함이 보고되었다.²⁶ 백내장수술 후 염증 반응으로 프로스타글란딘의 방출이 증가하고 방수에 프

로스타글란딘이 분비되는데, 이로 인해 혈액망막장벽이 파괴되면 유리체공간 내로 염증물질이 퍼지면서 망막에 잠재적인 변화를 일으킬 수 있게 된다고 알려져 있다.^{27,28} 백내

Figure 8. Scatter plots for correlation between change in best corrected visual acuity (Δ BCVA) and change in vessel density (Δ VD) 6 months after cataract surgery. There was no significant correlation between Δ BCVA and Δ VD. (A) Correlation between Δ BCVA and Δ VD of fovea superficial capillary plexus (SCP) ($\rho = -0.092$, $p = 0.668$). (B) Correlation between Δ BCVA and Δ VD of fovea deep capillary plexus (DCP) ($\rho = -0.239$, $p = 0.260$). (C) Correlation between Δ BCVA and Δ VD of parafovea SCP ($\rho = -0.353$, $p = 0.090$). (D) Correlation between Δ BCVA and Δ VD of parafovea DCP ($\rho = -0.064$, $p = 0.765$). (E) Correlation between Δ BCVA and Δ VD of perifovea SCP ($\rho = -0.203$, $p = 0.341$). (F) Correlation between Δ BCVA and Δ VD of perifovea DCP ($\rho = -0.165$, $p = 0.441$). Spearman rank correlation analysis was used to evaluate the relationship between variables. logMAR = logarithm of minimal angle of resolution; ρ = coefficient of correlation.

Table 4. The relationship between parameters and changes of mean vessel density after cataract surgery

Variable	Fovea SCP Δ VD		Fovea DCP Δ VD		Parafovea SCP Δ VD		Parafovea DCP Δ VD		Perifovea SCP Δ VD		Perifovea DCP Δ VD	
	B	p-value*	B	p-value*	B	p-value*	B	p-value*	B	p-value*	B	p-value*
Δ SQI	0.899	<0.001	1.089	<0.001	3.918	<0.001	2.063	<0.001	2.669	<0.001	4.354	<0.001
C	0.574	0.037	0.605	0.075	0.011	0.976	0.629	0.140	-0.209	0.467	0.759	0.178
N	-0.170	0.534	-0.212	0.531	-0.424	0.225	-0.204	0.633	-0.885	0.003	-1.184	0.037
P	-0.230	0.547	-0.603	0.205	-0.859	0.077	0.469	0.428	0.512	0.210	1.521	0.058
Δ Retinal thickness (μ m)	-0.066	0.124	-0.130	0.016	-0.015	0.796	0.070	0.309	0.028	0.573	0.080	0.414
Regression equation (R^2)*	0.262		0.290		0.725		0.325		0.649		0.562	
p-value*	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001	

Values are presented as coefficient and p-value of each parameter.

SCP = superficial capillary plexus; Δ VD = change of mean vessel density; DCP = deep capillary plexus; B = coefficient of multiple regression analysis; Δ SQI = change of mean scan quality index; C = cortical cataract; N = nuclear cataract; P = posterior subcapsular cataract.

*Multiple regression analysis of each area.

장수술 후 황반두께가 증가하는 것으로 보고되었으며, 술 후 합병증으로 낭포황반부종이 발생할 수 있다.³⁴ Perente et al³은 백내장수술 후 1개월, 3개월, 6개월에 중심오목, 중심오목부근의 망막두께가 유의하게 증가하였음을 보고하였고, Zhao et al¹³은 백내장수술 후 1주, 1개월, 3개월에 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 망막두께가 유의하게 증가하였으며 특히 내경계막과 내망상층 사이 두께가 유의하게 증가하였음을 보고하였다. 본 연구 결과 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 각 영역별 평균 망막두께는 백내장수술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 모두 유의하게 증가했다. 그러나 이러한 증가는 수술 후 1주, 1개월, 3개월에 황반 SCP, DCP 혈관밀도 증가와 각각 유의한 상관관계가 없었고, 6개월 후 중심오목 DCP 혈관밀도와 음의 상관관계가 있었으나, 다중회귀분석에서는 연관성이 없었다. Yu et al¹⁹은 백내장수술 후 증가한 산소소비량을 보상하기 위해 망막혈관의 구경은 변화하지 않고 산소포화도와 혈류 속도가 증가하는 것으로 보았으며, 레이저 플레어 측광검사(laser flare photometry) 결과 술 후 염증으로 인한 방수흐림(flare)은 오히려 SQI를 감소시켜 황반 혈관밀도와 음의 상관관계를 나타내는 것으로 보고하였다. 또한 이러한 전방의 방수흐림(flare)은 한 달 이후에는 다시 술 전과 같은 상태로 돌아오는 것으로 보고되었다.²⁹ 따라서 백내장수술 후 염증 반응은 수술 후 황반 모세혈관총 혈관밀도 증가와 관련이 없을 것으로 생각된다.

마지막으로 백내장수술 후 망막에 미치는 빛 독성의 증가로 인한 장기적인 영향을 고려해볼 수 있는데, 백내장은 망막으로 가는 빛의 18-40%를 차단하며 백내장수술을 하면 망막에 도달하는 빛이 증가한다.³⁰ 이전 연구에 따르면 빛 독성은 망막의 대사를 활성화시키고 혈관신생을 촉진하며, 연령관련황반변성의 발생률 증가와도 관련이 있다고 보고되었다.^{31,32} 백내장수술 후 증가된 빛 독성은 망막의 혈류에 장기적으로 영향을 끼칠 것으로 생각되나 이에 대한 연구는 하지 못하였으며 추가적인 연구가 필요하다.

시신경유두내 및 시신경유두주위 혈관밀도는 황반 모세혈관총 혈관밀도와 달리 유의미한 변화를 보이지 않았는데 이는 RPC와 황반 모세혈관총의 해부학적 차이와 빛간섭단층촬영술에 의한 시신경유두영역 혈관밀도 측정의 낮은 재현성에 기인한 것으로 추정된다. RPC는 혈관 모양이 곧고 길며 문합이 드물고 망막신경섬유층에 위치한다.³³ 이런 해부학적 특징으로 빛간섭단층촬영술로 측정된 시신경유두영역의 혈관밀도는 백내장수술 후 SQI 변화에 영향을 덜 받을 가능성이 있다. Lim et al³⁴의 연구 결과, 빛간섭단층촬영술에 의한 시신경유두영역 혈관밀도 측정은 황반 모세혈관총 혈관밀도 측정에 비해 재현성이 낮

다고 보고하였는데, 이로 인해 백내장수술 후 혈관밀도 변화가 관찰되지 않았을 가능성이 있다. 하지만 본 연구는 적은 수의 환자군을 대상으로 후향적으로 실시하였다는 한계가 있어 백내장수술 후 시신경유두내 및 시신경유두주위 혈관밀도 변화는 향후 더 많은 수의 환자군을 대상으로 한 추가적인 연구가 필요하다.

백내장수술 후 최대교정시력은 술 전 평균 0.35 ± 0.13 logMAR에서 술 후 6개월에 0.16 ± 0.14 logMAR로 유의하게 증가하였으나, 최대교정시력 변화와 황반 SCP와 DCP의 혈관밀도 증가는 유의한 상관관계가 없었다. 따라서 백내장수술 후 황반 모세혈관총 혈관밀도 증가가 수술 후 시력 호전에는 영향을 주지 않았다.

본 연구 결과 백내장수술 후 황반 SCP와 DCP의 혈관밀도가 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위에서 모두 유의하게 증가하였으며, 이러한 변화는 6개월 후에도 유지되었다. 시신경유두내 및 시신경유두주위 혈관밀도와 FAZ 면적은 백내장수술 후 유의한 변화가 관찰되지 않았다. 백내장수술 후 수정체혼탁의 제거에 따른 SQI 증가는 술 후 측정된 황반 모세혈관총 혈관밀도의 증가에 유의한 영향을 미쳤을 것으로 생각되며, 백내장수술 전후 빛간섭혈관조영술 촬영 시 이를 고려해야 할 것이다.

본 연구의 한계점으로 빛간섭단층촬영조영술 검사 시에 투사 효과(projection artifact)에 의해 SCP의 혈관이 DCP에 비쳐져 FAZ의 정확한 면적을 구하고 황반의 미세혈관 변화를 감지하는 데에 영향을 끼쳤을 것으로 생각되며, 향후 투사 효과를 배제할 수 있는 기술적 발전이 필요할 것으로 보인다.³⁵ 또한 빛간섭단층촬영조영술을 이용한 혈관밀도 측정의 재현성을 연구한 결과에 따르면, 일중 변동으로 측정 시간에 따라 SCP와 DCP의 혈관밀도 모두 각각 최대 8%, 10%의 차이를 보일 수 있다고 하였는데 이 점에 대해서 고려하지 못하였다.³⁶ 또한 진행된 백내장일수록 술 후 염증 반응이 심하고 수술 전후 SQI 변화가 커서 혈관밀도 변화가 클 것으로 생각하였으나, 백내장 진행 정도는 후낭하백내장과 수술 1주 후 중심오목부근 DCP, 중심오목주위 DCP의 혈관밀도 변화, 피질백내장과 3개월 후 중심오목 SCP의 혈관밀도 변화 사이에 유의한 상관관계가 있었던 것 외에 나머지 영역에서는 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 혈관밀도 변화량과 모두 유의한 상관관계가 없어 Yu et al¹⁹의 연구 결과와는 다르게 나타났다. 이는 LOCS III 분류상 평균 피질백내장 3, 핵백내장 4, 후낭하백내장 4의 환자를 대상으로 한 Yu et al¹⁹과는 달리 본원의 연구에서는 SQI가 4 미만인 환자는 연구 대상에서 제외함에 따라 LOCS III 분류상 평균 피질백내장 1.96 ± 1.33 , 핵백내장 2.27 ± 1.32 , 후낭하백내장 0.33 ± 0.76 으로 상대적으로 경한 환자군을

대상으로 연구함에 따라 표본선정편파의 영향이 있었을 것으로 보인다. 그리고 후발 백내장은 SQI에 영향을 미쳐 황반 혈관밀도 측정에 영향을 줄 것으로 생각되나 본 연구는 의무기록을 통한 후향적 연구로 후발백내장 정도에 대한 기술이 없는 환자가 대부분이어서 이에 대한 분석은 시행하지 못하였다. 백내장수술 후 6개월의 기간 동안 후발백내장으로 야그레이저후낭절개술을 시행한 사례는 없었는데, 향후 야그레이저후낭절개술 전후 황반 모세혈관총 혈관 밀도 변화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

결론적으로 본 연구는 빛간섭단층혈관조영술을 이용하여 백내장수술 후 황반의 SCP와 DCP의 혈관밀도, 시신경 유두내와 시신경유두주위 혈관밀도, FAZ 면적의 변화를 각각 정량적으로 분석하였다. 그 결과 시신경유두내, 시신경유두주위 혈관밀도와 FAZ 면적은 유의한 변화가 나타나지 않았으며 황반 SCP와 DCP의 혈관밀도는 중심오목, 중심오목부근, 중심오목주위 세 영역에서 백내장수술 1주 후, 1개월 후, 3개월 후, 6개월 후에 모두 유의하게 증가되었음을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- Lee CM, Afshari NA. The global state of cataract blindness. *Curr Opin Ophthalmol* 2017;28:98-103.
- Porela-Tiihonen S, Kaamiranta K, Kokki M, Kokki H. Recovery and patient satisfaction after cataract surgery. A one-year prospective follow-up study. *Acta Ophthalmol* 2015;93:e172-3.
- Perente I, Utine CA, Ozturker C, et al. Evaluation of macular changes after uncomplicated phacoemulsification surgery by optical coherence tomography. *Curr Eye Res* 2007;32:241-7.
- Lobo CL, Faria PM, Soares MA, et al. Macular alterations after small-incision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:752-60.
- 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.
- Ohsugi H, Ikuno Y, Ohara Z, et al. Changes in choroidal thickness after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:184-91.
- Shahzad R, Siddiqui MAR, Zafar S, et al. Choroidal thickness changes following cataract surgery using swept source optical coherence tomography. *Can J Ophthalmol* 2018;53:60-4.
- Mansberger SL, Gordon MO, Jampel H, et al. Reduction in intraocular pressure after cataract extraction: the Ocular Hypertension Treatment Study. *Ophthalmology* 2012;119:1826-31.
- Hilton EJ, Hosking SL, Gherghel D, et al. Beneficial effects of small-incision cataract surgery in patients demonstrating reduced ocular blood flow characteristics. *Eye (Lond)* 2005;19:670-5.
- Spaide RF, Klancnik JM Jr, Cooney MJ. Retinal vascular layers imaged by fluorescein angiography and optical coherence tomography angiography. *JAMA Ophthalmol* 2015;133:45-50.
- Kashani AH, Chen CL, Gahm JK, et al. Optical coherence tomography angiography: a comprehensive review of current methods and clinical applications. *Prog Retin Eye Res* 2017;60:66-100.
- Kim AY, Chu Z, Shahidzadeh A, et al. Quantifying microvascular density and morphology in diabetic retinopathy using spectral-domain optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57:OCT362-70.
- Zhao Z, Wen W, Jiang C, Lu Y. Changes in macular vasculature after uncomplicated phacoemulsification surgery: optical coherence tomography angiography study. *J Cataract Refract Surg* 2018;44:453-8.
- Zhou Y, Zhou M, Wang Y, et al. Short-term changes in retinal vasculature and layer thickness after phacoemulsification surgery. *Curr Eye Res* 2020;45:31-7.
- Hsiao CC, Yang CM, Yang CH, et al. Correlations between visual acuity and macular microvasculature quantified with optical coherence tomography angiography in diabetic macular oedema. *Eye (Lond)* 2020;34:544-52.
- Winegarmer A, Wakabayashi T, Fukushima Y, et al. Changes in retinal microvasculature and visual acuity after antivascular endothelial growth factor therapy in retinal vein occlusion. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018;59:2708-16.
- Tan CS, Lim LW, Chow VS, et al. Optical coherence tomography angiography evaluation of the parafoveal vasculature and its relationship with ocular factors. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57:OCT224-34.
- Yarmohammadi A, Zangwill LM, Diniz-Filho A, et al. Optical coherence tomography angiography vessel density in healthy, glaucoma suspect, and glaucoma eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57:OCT451-9.
- Yu S, Frueh BE, Steinmair D, et al. Cataract significantly influences quantitative measurements on swept-source optical coherence tomography angiography imaging. *PLoS One* 2018;13:e0204501.
- Lauermann JL, Woetzel AK, Treder M, et al. Prevalences of segmentation errors and motion artifacts in OCT-angiography differ among retinal diseases. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018;256:1807-16.
- Ali N, Sampson DM, Au Yong A, et al. Clinical validation of the RTVue optical coherence tomography angiography image quality indicators. *Clin Exp Ophthalmol* 2020;48:192-203.
- Li M, Yang Y, Jiang H, et al. Retinal microvascular network and microcirculation assessments in high myopia. *Am J Ophthalmol* 2017;174:56-67.
- Chen M, Dai J, Gong L. Changes in retinal vasculature and thickness after small incision lenticule extraction with optical coherence tomography angiography. *J Ophthalmol* 2019;2019:3693140.
- Alaghband P, Beltran-Agulló L, Galvis EA, et al. Effect of phacoemulsification on facility of outflow. *Br J Ophthalmol* 2018;102:1520-6.
- Weigert G, Findl O, Luksch A, et al. Effects of moderate changes in intraocular pressure on ocular hemodynamics in patients with primary open-angle glaucoma and healthy controls. *Ophthalmology* 2005;112:1337-42.
- Xu H, Chen M, Forrester JV, Lois N. Cataract surgery induces retinal pro-inflammatory gene expression and protein secretion. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52:249-55.
- Miyake K, Ibaraki N. Prostaglandins and cystoid macular edema. *Surv Ophthalmol* 2002;47 Suppl 1:S203-18.
- Schultz T, Joachim SC, Stellbogen M, Dick HB. Prostaglandin release during femtosecond laser-assisted cataract surgery: main inducer. *J Refract Surg* 2015;31:78-81.
- Chee SP, Ti SE, Sivakumar M, Tan DT. Postoperative inflammation: extracapsular cataract extraction versus phacoemulsification. *J*

- Cataract Refract Surg 1999;25:1280-5.
- 30) Artigas JM, Felipe A, Navea A, et al. Spectral transmission of the human crystalline lens in adult and elderly persons: color and total transmission of visible light. Invest Ophthalmol Vis Sci 2012;53:4076-84.
- 31) Libre PE. Intraoperative light toxicity: a possible explanation for the association between cataract surgery and age-related macular degeneration. Am J Ophthalmol 2003;136:961.
- 32) Cugati S, Mitchell P, Rochtchina E, et al. Cataract surgery and the 10-year incidence of age-related maculopathy: the Blue Mountains Eye Study. Ophthalmology 2006;113:2020-5.
- 33) Vujosevic S, Muraca A, Gatti V, et al. Peripapillary microvascular and neural changes in diabetes mellitus: an OCT-Angiography Study. Invest Ophthalmol Vis Sci 2018;59:5074-81.
- 34) Lim CW, Cheng J, Tay ELT, et al. Optical coherence tomography angiography of the macula and optic nerve head: microvascular density and test-retest repeatability in normal subjects. BMC Ophthalmol 2018;18:315.
- 35) Zhang Q, Zhang A, Lee CS, et al. Projection artifact removal improves visualization and quantitation of macular neovascularization imaged by optical coherence tomography angiography. Ophthalmol Retina 2017;1:124-36.
- 36) Al-Sheikh M, Tepelus TC, Nazikyan T, Sadda SR. Repeatability of automated vessel density measurements using optical coherence tomography angiography. Br J Ophthalmol 2017;101:449-52.

= 국문초록 =

빛간섭단층혈관조영술을 이용한 백내장수술 후 황반 모세혈관총 분석

목적: 빛간섭단층혈관조영술을 이용해 백내장수술 후 황반 모세혈관총 혈관밀도(vessel density, VD) 변화를 알아보았다.

대상과 방법: 2018년 7월부터 2019년 6월까지 백내장수술을 받은 24명 24안을 대상으로 후향적 분석을 하였다. 황반표층 모세혈관총(superficial capillary plexus, SCP)과 심부 모세혈관총(deep capillary plexus, DCP), 시신경유두내, 시신경유두주위의 VD와 중심오목무혈관 부위 면적 변화를 술 전, 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 얻은 빛간섭단층혈관조영영상을 이용해 분석하였다.

결과: 중심오목 SCP와 DCP, 중심오목부근 SCP와 DCP, 중심오목주위 SCP와 DCP의 VD는 각각 술 전 $15.42 \pm 6.61\%$ 와 $28.43 \pm 7.62\%$, $47.28 \pm 5.76\%$ 와 $53.06 \pm 3.89\%$, $45.20 \pm 5.01\%$ 와 $46.62 \pm 5.89\%$ 에서 술 후 증가하여 6개월에 $17.20 \pm 6.21\%$ 와 $30.52 \pm 7.06\%$, $50.34 \pm 5.00\%$ 와 $53.90 \pm 4.20\%$, $48.52 \pm 4.32\%$ 와 $50.96 \pm 5.57\%$ 로 모두 유의하게 증가된 상태를 유지하였다(각각 $p < 0.001$, $p = 0.001$, $p = 0.002$, $p = 0.014$, $p < 0.001$, $p = 0.002$). 시신경유두내, 시신경유두주위 VD 및 중심오목무혈관 부위 면적은 유의한 변화가 없었다(각각 $p = 0.068$, $p = 0.332$, $p = 0.206$).

결론: 백내장수술 후 황반 모세혈관총 VD는 SCP와 DCP에서 술 후 1주, 1개월, 3개월, 6개월에 모두 유의하게 증가하였다.
(대한안과학회지 2020;61(11):1288-1301)

성수민 / Su Min Sung

제일안과병원
Cheil Eye Hospital