

## 섬유주절제술 병합 백내장수술 후 고위수차 변화

### Changes in High-order Aberrations after Phacotrabeculectomy Surgery

정재우 · 조성호 · 서제현

Jae Woo Jung, MD, Seong Ho Jo, MD, Je Hyun Seo, MD, PhD

부산대학교 의학전문대학원 양산부산대학교병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Pusan National University Yangsan Hospital, Pusan National University School of Medicine, Yangsan, Korea

**Purpose:** To investigate changes in ocular high-order aberrations (HOAs) resulting from phacotrabeculectomy and phacoemulsification.

**Methods:** We retrospectively reviewed 38 eyes of 38 glaucoma and cataract patients who underwent mitomycin C (MMC) augmented trabeculectomy with phacoemulsification and 34 eyes of 34 cataract patients who underwent phacoemulsification. For all patients, we measured the best corrected visual acuity (BCVA), intraocular pressure (IOP), keratometry, and HOAs (iTrace, Tracey Technologies, Houston, TX, USA) both preoperatively and postoperatively.

**Results:** IOP was significantly decreased after surgery in the combined group ( $p < 0.001$ ). Entire eye, coma-like, and spherical-like high-order aberrations from each entire eye, corneal aberrations, and internal-optics aberration were increased until after 2 weeks, which then decreased until 3 months after phacotrabeculectomy. In the phacoemulsification group, entire eye (each  $p = 0.006$ ,  $p = 0.006$ ), coma-like (each  $p = 0.006$  and  $p = 0.005$ ), and spherical-like high-order aberrations (each  $p = 0.008$ ,  $p = 0.005$ ) from entire eye and internal-optics aberrations were decreased.

**Conclusions:** After cataract surgery, entire eye, coma-like, and spherical-like high-order aberrations were significantly decreased while aberrations did not change after combined operation. These results suggest that a change in high-order aberrations of internal optics results in a decrease in postoperative HOAs. In addition, the baseline HOAs of the cataract group were higher than those of the combined surgery group, and the effect of trabeculectomy on HOAs may offset the impact of cataract surgery in the combined surgery group.

J Korean Ophthalmol Soc 2017;58(6):676-684

**Keywords:** High-order aberration, Phacoemulsification, Trabeculectomy

녹내장은 점진적으로 진행되는 형태학적인 시신경변화와 그에 상응하는 시야의 소실이 일어나는 시신경질환을

말한다.<sup>1,2</sup> 녹내장 발병의 정확한 기전은 명확히 알 수 없으나, 안압은 발병과 진행의 중요한 위험인자이며, 조절 가능한 유일한 위험인자로 알려져 있다.<sup>3</sup> 이에 따라 녹내장 치료로 안압하강제를 우선적으로 사용하나, 최대약물요법치료 및 레이저를 이용한 치료에도 조절되지 않는 고안압이 지속되는 녹내장 환자들에게 있어 녹내장 수술의 일종인 섬유주절제술이 시신경 손상과 시야소실을 막기 위해 시행되는 수술법이다.<sup>3</sup> 녹내장의 발병은 나이와 관련이 있으며, 노화가 됨에 따라서 백내장이 같이 있는 경우가 있어서, 녹내장 수술과 병합하여 백내장수술을 시행하는 경우가 있으며 한 번에 해결할 수 있기에 장점도 있으나, 상황에 따라

■ Received: 2016. 12. 15.      ■ Revised: 2017. 4. 25.

■ Accepted: 2017. 5. 29.

■ Address reprint requests to Je Hyun Seo, MD, PhD  
Department of Ophthalmology, Pusan National University  
Yangsan Hospital, #20 Geumo-ro, Mulgeum-eup, Yangsan  
50612, Korea  
Tel: 82-55-360-2131, Fax: 82-55-360-2161  
E-mail: jazmin2@naver.com

\* This study was supported by a 2016 research grant from Pusan National University Yangsan Hospital

© 2017 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.

서 녹내장 수술의 실패와 연관될 수 있다.

최근 각막 지형도 및 웨이브 프론트 측정을 이용하여 안과 수술 전후의 고위 수차 분석이 가능해졌고, 이에 따라 시력의 질 변화에 대한 추정이 가능해지면서 백내장수술, 익상편 절제술, 각막 이식, 공막돌륭술 등의 여러 안과 수술에서 고위 수차의 변화의 분석을 통하여 안과 수술이 시력의 질에 어떤 영향을 주는지에 대한 많은 연구와 보고들이 이루어지고 있다.<sup>4,7</sup> 녹내장 수술과 관련하여 고위수차 연구는 거의 이루어지지 않는 않지만, 최근에 Fukuoka et al<sup>8</sup>은 섬유주절제술 후 고위수차의 변화를 수술 전, 수술 후 1개월과 3개월을 비교하였으며, 수술 후 1개월에 변화가 관찰되지만 이후에는 수술 전과 비교하여 큰 변화가 없다는 것을 보고한 바가 있다. 국내에서도 Kim et al<sup>9</sup>의 펜타캠에 의한 결막편 절개 방법에 따른 섬유주 절제술 전후의 고위수차 변화에 대한 보고가 있으나 현재까지 백내장 및 섬유주 절제술 병합수술과 단독 백내장수술을 비교하거나 섬유주 절제술 전후 고위수차의 변화를 전체, 각막, 수정체로 구분한 연구는 보고된 바가 없다.

이에 본 저자들은 i-trace (Tracey Technologies, Houston, TX, USA)를 이용하여 녹내장 및 백내장으로 섬유주 절제술 병합 백내장수술(삼중수술)을 받은 환자에서 고위수차의 변화를 알아보고, 대조군으로 백내장수술을 받은 환자들의 수술 전후, 각막 곡률, 전방계측치, 안구전체와 각막 및 수정체를 각각 구분한 고위수차의 변화를 비교하여 알아보고자 하였다.

## 대상과 방법

본 연구는 2013년 4월부터 2015년 12월까지 양산부산대학교병원에서 녹내장 및 백내장으로 섬유주절제술 및 백내장 병합수술을 받은 환자 38명 38안, 백내장수술을 받은 환자 34명 34안을 대상으로 양산부산대학교병원 연구윤리 심의위원회의 승인을 받았으며(IRB No. 05-2016-116), 의무기록을 토대로 후향적으로 분석하였다.

임상적으로 의미가 있는 Lens Opacities Classification System (LOCS) III 3등급보다 심한 백내장이 있으면서<sup>10</sup> 섬유주절제술을 받은 환자들은 녹내장의 진행이 가능한 안압 상승이 있을 때, 추가적인 약물 및 레이저 치료에도 목표 안압으로 낮춰지지 않을 때, 녹내장에 의한 시야결손이 진행되고 있을 때, 현재의 약물치료에 부작용이 관찰되었을 때 삼중수술을 시행하였다. 대조군으로 백내장수술을 받은 환자들은 LOCS III 3등급보다 심한 백내장이 있으면서 백내장에 의한 시력저하가 느껴질 때, 수정체 혼탁 및 팽대로 합병증의 위험이 높을 때 수술을 시행하였다.

삼중 수술을 받은 환자는 수술 전, 수술 후 2주, 4주 3달에 최대교정시력, 안압, 굴절검사, 세극등현미경검사, 각막 난시를 측정하였으며, i-trace (Tracey Technologies)를 이용하여 각막지형도 및 고위수차를 측정하였다. 본 연구에서 녹내장 및 백내장을 가지고 있는 환자군은 원발성 개방각 녹내장, 정상안압녹내장, 거트비늘녹내장, 색소녹내장, 포도막염에 의한 녹내장, 스테로이드 약물에 의한 녹내장을 포함하였으며, 외상에 의한 녹내장, 신생혈관녹내장, 소아녹내장은 제외하였다. 최대교정시력이 20/40 이하인 경우, +5.0디옵터 이상의 원시이거나 -8.0디옵터 이하의 근시, +3.0디옵터 이상의 난시에 해당하는 환자는 제외하였다. 또한 이전에 안 수술의 병력이 있거나 안과적 질환이 있는 경우, 그리고 시야에 이상을 유발할 수 있는 신경학적 질환이 있는 경우 연구 대상에서 제외하였다.

섬유주절제술 병합 백내장수술 및 백내장수술은 단독 술자에 의해서 시행되었다. 섬유주절제술은 점안 마취 후에 결막 반흔이 없는 11시 방향 혹은 1시 방향에 원개 지저 결막절개를 시행하고 결막과 테논낭을 공막으로부터 박리하였다. 이후 1/2에서 1/3 두께, 2.5 × 2.5 mm 크기의 사다리꼴의 공막편을 각막 가장자리에 만들고 결막하와 공막편 아래에 0.04% 마이토마이신 C 용액을 적신 스펀지로 약 2분에서 3분간 점적 후 평형염액으로 세척을 시행하였다. 누공을 만든 후 주변부 홍채절개술을 시행하고 양측 공막편 모서리를 10-0 나일론 비흡수성 봉합사로 단순봉합을 시행하였다. 이후 결막 및 테논낭을 10-0 나일론 비흡수성 봉합사로 각막 윤부에 고정 봉합을 시행하여 수술을 종료하였다. 백내장병합술 후 1달간 0.5% moxifloxacin hydrochloride, 1% prednisolone acetate 1일 4회 점안하였으며, 수술 후 소견상 전방이 얇은 경우에만 1% atropine sulfate 1일 2회를 1주일간 점안하였다. 녹내장 수술에 맥락막삼출, 유리체출혈 등 심각한 합병증이 있는 경우에는 본 연구에서 제외하였다.

백내장수술은 점안 마취 후에 이측의 2.75 mm 크기 미세절개 투명각막절개 부위로 점탄 물질을 전방에 주입하고, 30게이지 바늘 및 집계를 이용하여 수정체낭원형절개를 시행하였다. 수력분리술 시행 후 수정체 초음파유화술 및 관류흡입술을 순서대로 시행하였고 점탄물질을 주입하여 전방과 수정체낭의 공간을 확보한 다음 인공수정체를 수정체 낭내에 삽입하였다. 이후 점탄물질을 제거하고 인공수정체가 수정체낭내에 정위치된 것을 확인하고 10-0 나일론 비흡수성 봉합사로 각막절개부위를 봉합 후 수술을 종료하였다. 인공수정체 도수는 IOL Master (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)로 각막곡률, 안축장, 전방깊이를 측정 후 Sanders-Retzlaff-Kraff/Theoretical (SRK-T) 공식을 이용하여

결정하였고, 인공수정체는 Tecnis ZCB00 (Abbott Laboratories Inc., Abbott Park, IL, USA)의 같은 종류를 사용하였다.

고위 수차는 녹내장병합수술군일 경우 수술 전, 수술 후 2 주, 1개월, 3개월에 암실에서 i-Trace (Tracey Technologies)를 이용하여 각막 중심으로부터 4 mm의 안구 수차 값을 측정하여 분석하였다. 고위수차는 제르니케 다항식(Zernike polynomials)으로 6차 수차까지 분석하였다. 전체 고위수차 및 코마, 세조각, 구면 수차와 4-6차의 측정된 고위수차 제곱근평균제곱(root mean square, RMS) 값을 계산하였으며 임상적으로 유용한 동경차수가 3차 수차인 코마수차와 4차 수차인 구면수차를 제르니케 다항식으로 분석하였다. 3차 제르니케 다항식의 계수에 해당하는( $C_3^{-3}$ ,  $C_3^{-1}$ ,  $C_3^1$ ,  $C_3^3$ ) 제곱근평균제곱값은 코마유사수차로, 4차 제르니케 다항식의 계수에 해당하는( $C_4^{-4}$ ,  $C_4^{-2}$ ,  $C_4^0$ ,  $C_4^2$ ,  $C_4^4$ ) 제곱근평균제곱값은 구면수차유사 수차로 계산하였다. 모든 고위수차 값은 전체 안구에서 측정되는 고위수차를 비롯하여 각막 고위수차 및 수정체 고위수차로 세분화된 값도 각각 구하여 분석하였다.

통계적 분석은 SPSS 18.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였고 최대교정시력, 안압, 구면 수차대응치, 기저질환 및 고위수차의 수술 전후의 변화는 paired *t*-test를 사용하였으며 섬유주절제술 병합 백내장수술과 백내장수술 두 군 간의 비교는 independent *t*-test를 사용하였다. *p*값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

## 결 과

본 연구의 대상 환자는 녹내장 삼중수술을 받은 38명 38안, 백내장수술 단독 시행을 받은 34명 34안이었다. 섬유주절제술 병합 백내장수술을 받은 환자군의 수술 전 초기 평균 나이는  $67.3 \pm 10.1$ 세였고, 술 전 최대교정시력은 logMAR  $0.62 \pm 0.55$ , 구면렌즈대응치는 평균  $-0.67 \pm 2.23$  diopter로 측정되었다. 이들은 통계학적으로 섬유주절제술 병합 백내장수술군과 백내장수술군 두 군 사이에 의미 있는 차이를 보이지 않았다(Table 1). 그러나 baseline HOA는 백내장만 있는 경우에 좀 더 높은 수차를 보였다.

백내장의 진행 정도는 LOCS III를 근거로 하였으며, 핵경화의 정도가 섬유주절제술 및 백내장 병합수술 환자군이 평균 nuclear color (NC)  $3.43 \pm 0.58$  및 nuclear opalescence (NO)  $3.28 \pm 0.49$ , 백내장수술군에서 평균 NO  $3.71 \pm 0.62$  및 NC  $3.56 \pm 0.77$ 로 백내장수술군이 높은 경향을 보였으나 두 군 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다( $p=0.128$  및  $p=0.320$ , Table 1).

섬유주절제술 병합 백내장수술 후 최대교정시력은 logMAR  $0.42 \pm 0.37$ 로 시력이 호전되었으며( $p<0.001$ ), 구면렌즈대응치는  $-0.52 \pm 1.45$  diopter로 낮아지는 경향을 보였으나 통계학적으로 유의한 변화는 아니었다. 안압은 수술 후  $11.70 \pm 4.26$  mmHg로 감소하였다( $p<0.001$ ). 한편, 백내장수술 후 최대교정시력은 logMAR  $0.19 \pm 0.18$ 로 시력이 호전되었다( $p<0.001$ ). 구면렌즈대응치는  $-0.61 \pm 0.86$  diopter로 증가하

Table 1. Demographic and baseline characteristics of subjects

	Group A (n = 38)	Group B (n = 34)	<i>p</i> -value*
Age (years)	$67.29 \pm 10.08$	$65.82 \pm 9.71$	0.251
BCVA (logMAR)	$0.62 \pm 0.55$	$0.45 \pm 0.41$	0.285
IOP (mmHg)	$27.79 \pm 8.08$	$22.52 \pm 7.34$	<0.001
Spherical equivalents (diopter)	$-0.67 \pm 2.23$	$-0.01 \pm 3.16$	0.612
Nuclear color	$3.43 \pm 0.58$	$3.71 \pm 0.62$	0.128
Nuclear opalescence	$3.28 \pm 0.49$	$3.56 \pm 0.77$	0.320
DM history (n, %)	9 (23.7)	6 (17.7)	0.254
HTN history (n, %)	11 (28.9)	13 (38.2)	0.169
POAG (n, %)	17 (44.7)	N/A	
NTG (n, %)	0	N/A	
Pseudoexfoliation G (n, %)	7 (18.4)	N/A	
Uveitic G (n, %)	3 (7.9)	N/A	
Pigmentary G (n, %)	0	N/A	
Steroid induced G (n, %)	1 (2.6)	N/A	
Visual field (MD, dB)	$-21.47 \pm 7.73$	N/A	
Visual field (PSD, dB)	$8.24 \pm 3.11$	N/A	

Values are presented as mean  $\pm$  SD or n (%) unless otherwise indicated. 'Group A' means 'phacotrabeculectomy', and 'Group B' means 'phacoemulsification'.

BCVA = best corrected visual acuity; IOP = intraocular pressure; DM = diabetes mellitus; HTN = hypertension; POAG = primary open angle glaucoma; NTG = normal tension glaucoma; G = glaucoma; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation; N/A = not applicable.

\**p*-value by independent T test between group A and group B for variables, in case of numeric, Chi-square applied.

는 경향을 보였으며, 안압은  $13.84 \pm 3.20$  mmHg로 다소 감소하였으나 두 값 모두 통계학적으로 유의한 변화는 아니었다(Table 2).

난시에 대해 분석하고자 Cravy 방법에 따른 백터 분석을 하였으며,<sup>11,12</sup> 섬유주절제술 병합 백내장수술군에서는 난시가 감소하고 수직경선의 난시는 증가하였으나 통계학적으로 유의하지 않았다. 백내장수술군에서도 난시가 감소하고 수직경선의 난시는 근소하게 증가하였으나 유의한 변화는 아니었다. 수술 전과 술 후 두 군 간의 비교에서도 술 후에 의미 있는 변화는 관찰되지 않았다(Table 3).

#### 안구전체 고위수차

섬유주절제술 병합 백내장수술군에서 코마수차는 수술 전보다 수술 후 2주째에 증가 소견이 관찰되었으나 통계적 유의성은 없었으며, 구면수차도 술 전보다 술 후 2주째 증가되었으나 통계적 차이가 없었으며, 전체고위수차 역시 증가하였지만 통계적 차이가 없었다(Table 4). 백내장수술군에서는 코마수차는 수술 전에 비하여 2주일째에 유의하게 감소하였다( $p=0.006$ ). 구면수차 역시 유의한 감소가 관

찰되었으며( $p=0.006$ ), 전체 고위수차도( $p=0.006$ ) 감소하였다(Table 4). 두 군 간의 고위수차 비교에서는 수술 전 코마수차( $p=0.003$ ), 구면수차( $p=0.006$ ), 전체 고위수차( $p=0.004$ ) 모두 섬유주절제술 병합 백내장수술군에서 백내장수술군보다 유의하게 낮게 측정되었으나, 수술 후 2주째에는 두 군 간에 고위수차 전체에서는 유의한 차이가 관찰되지 않았다(Table 4).

#### 각막 고위수차

섬유주절제술 병합 백내장수술군과 백내장수술군 모두에서 코마수차, 구면수차, 전체고위수차 각각 수술 전과 수술 후 2주째 유의한 각막 고위수차 변화는 관찰되지 않았다(Table 4). 두 군 간의 고위수차 비교에서 수술 전 코마수차와 구면수차는 두 군 간에 유의한 차이가 없었으나, 전체 고위수차( $p=0.021$ )는 백내장수술군이 유의하게 높았다. 수술 후 2주째에는 두 군 간에 고위수차 전체에서 유의한 차이가 관찰되지 않았다(Table 4).

**Table 2.** Changes of best corrected visual acuity (BCVA), spherical equivalents (SE) and intraocular pressure (IOP) between Group A and Group B

		Group A (n = 38)	Group B (n = 34)	p-value <sup>†</sup>
BCVA (logMAR)	Baseline	$0.62 \pm 0.55$	$0.46 \pm 0.27$	0.285
	Post 2 weeks	$0.42 \pm 0.37$	$0.19 \pm 0.18$	0.332
	p-value*	<0.001	<0.001	
SE (diopter)	Baseline	$-0.67 \pm 2.32$	$-0.39 \pm 3.36$	0.612
	Post 2 weeks	$-0.52 \pm 1.45$	$-0.61 \pm 0.86$	0.228
	p-value*	0.398	0.546	
IOP (mmHg)	Baseline	$27.79 \pm 8.08$	$14.62 \pm 2.74$	<0.001
	Post 2 weeks	$11.70 \pm 4.26$	$13.84 \pm 3.20$	0.024
	p-value*	<0.001	0.341	

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated. 'Group A' means 'phacotrabeculectomy', and 'Group B' means 'phacoemulsification'.

\*p-value by paired T test between baseline value and postoperative 2 weeks for each groups; <sup>†</sup>p-value by independent T test between group A and group B for variables.

**Table 3.** Calculation of postoperative corneal astigmatic changes (D) and postoperative corneal astigmatic changes (D) among each groups a long vertical meridian using the Cravy Method<sup>11,12</sup>

Variable		Group A	Group B	p-value <sup>†</sup>
Postoperative corneal astigmatic changes (D)	Baseline	$1.27 \pm 1.46$	$1.31 \pm 1.10$	0.079
	2 weeks	$1.25 \pm 1.09$	$1.07 \pm 1.29$	0.246
	p-value*	0.087	0.211	
Postoperative corneal astigmatic changes a long vertical meridian (D)	Baseline	$0.91 \pm 0.98$	$0.96 \pm 1.01$	0.063
	2 weeks	$0.97 \pm 1.03$	$0.99 \pm 1.06$	0.120
	p-value*	0.403	0.560	

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated. 'Group A' means 'phacotrabeculectomy', and 'Group B' means 'phacoemulsification'.

D = diopters.

\*p-value by paired T test between baseline value and postoperative 2 weeks for each groups; <sup>†</sup>p-value by independent T test between group A and group B for variables.

**Table 4.** Comparison of higher order aberrations depends on surgery and group

		Group A (n = 38)			Group B (n = 34)			p-value*		
		Coma-like	Spherical-like	HOT	Coma-like	Spherical-like	HOT	Coma-like	Spherical-like	HOT
Entire eye ( $\mu\text{m}$ , RMS)	Baseline	0.50 $\pm$ 0.43	0.27 $\pm$ 0.33	0.57 $\pm$ 0.53	2.00 $\pm$ 2.97	1.05 $\pm$ 1.60	2.27 $\pm$ 3.37	0.003	0.006	0.004
	2 weeks	0.65 $\pm$ 0.63	0.36 $\pm$ 0.42	0.76 $\pm$ 0.74	0.42 $\pm$ 0.40	0.19 $\pm$ 0.27	0.47 $\pm$ 0.48	0.120	0.080	0.091
	p-value†	0.319	0.430	0.321	0.006	0.006	0.006			
Cornea ( $\mu\text{m}$ , RMS)	Baseline	0.24 $\pm$ 0.23	0.09 $\pm$ 0.11	0.27 $\pm$ 0.25	0.24 $\pm$ 0.24	0.14 $\pm$ 0.15	0.29 $\pm$ 0.27	0.912	0.159	0.021
	2 weeks	0.28 $\pm$ 0.23	0.09 $\pm$ 0.07	0.30 $\pm$ 0.23	0.23 $\pm$ 0.32	0.11 $\pm$ 0.30	0.26 $\pm$ 0.43	0.536	0.599	0.758
	p-value†	0.434	0.857	0.519	0.883	0.689	0.778			
Internal-optics ( $\mu\text{m}$ , RMS)	Baseline	0.49 $\pm$ 0.50	0.23 $\pm$ 0.28	0.56 $\pm$ 0.56	0.87 $\pm$ 0.78	0.58 $\pm$ 0.70	1.06 $\pm$ 1.03	<0.001	<0.001	≤0.001
	2 weeks	0.53 $\pm$ 0.56	0.33 $\pm$ 0.41	0.64 $\pm$ 0.68	0.41 $\pm$ 0.62	0.22 $\pm$ 0.40	0.47 $\pm$ 0.74	0.833	0.553	0.649
	p-value†	0.744	0.229	0.587	0.005	0.008	0.005			

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated. ‘Group A’ means ‘phacotrabeculectomy’, and ‘Group B’ means ‘phacoemulsification’.

Coma-like = the third-order Zernike coefficients ( $C_3^{-3}$ ,  $C_3^{-1}$ ,  $C_3^1$ ,  $C_3^3$ ); Spherical-like = the fourth-order Zernike coefficients ( $C_4^{-4}$ ,  $C_4^{-2}$ ,  $C_4^0$ ,  $C_4^2$ ,  $C_4^4$ ); HOT = higher order total: magnitude of the third to sixth-orders; RMS = root mean square.

\*p-value by independent T test of HOAs between Group A and Group B (Coma-like, Spherical-like, Higher order total); †p-value by paired T test between baseline value and postoperative 2 weeks for each groups (Coma-like, Spherical-like, Higher order total).

**Table 5.** Comparison of higher order aberrations between preoperative and postoperative in phacotrabeculectomy

		Group A (n = 38)						
		Baseline	2 weeks	p-value*	1 month	p-value†	3 months	p-value‡
Entire eye ( $\mu\text{m}$ , RMS)	Coma-like	0.50 $\pm$ 0.43	0.65 $\pm$ 0.63	0.319	1.18 $\pm$ 2.58	0.093	0.61 $\pm$ 1.07	0.285
	Spherical-like	0.27 $\pm$ 0.33	0.36 $\pm$ 0.42	0.430	0.62 $\pm$ 1.40	0.419	0.33 $\pm$ 0.58	0.246
	HOT	0.57 $\pm$ 0.53	0.76 $\pm$ 0.74	0.321	1.35 $\pm$ 2.93	0.096	0.70 $\pm$ 1.21	0.253
Cornea ( $\mu\text{m}$ , RMS)	Coma-like	0.24 $\pm$ 0.23	0.28 $\pm$ 0.23	0.434	0.25 $\pm$ 0.31	0.897	0.18 $\pm$ 0.15	0.406
	Spherical-like	0.09 $\pm$ 0.11	0.09 $\pm$ 0.07	0.857	0.09 $\pm$ 0.13	0.771	0.01 $\pm$ 0.15	0.526
	HOT	0.27 $\pm$ 0.25	0.30 $\pm$ 0.23	0.519	0.27 $\pm$ 0.33	0.463	0.20 $\pm$ 0.20	0.729
Internal-optics ( $\mu\text{m}$ , RMS)	Coma-like	0.49 $\pm$ 0.50	0.53 $\pm$ 0.56	0.744	0.29 $\pm$ 0.68	0.371	0.21 $\pm$ 0.60	0.136
	Spherical-like	0.23 $\pm$ 0.28	0.33 $\pm$ 0.41	0.229	0.53 $\pm$ 1.24	0.196	0.30 $\pm$ 0.54	0.240
	HOT	0.56 $\pm$ 0.56	0.64 $\pm$ 0.68	0.587	0.62 $\pm$ 1.40	0.525	0.39 $\pm$ 0.79	0.593

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated. ‘Group A’ means ‘phacotrabeculectomy’.

Coma-like = the third-order Zernike coefficients ( $C_3^{-3}$ ,  $C_3^{-1}$ ,  $C_3^1$ ,  $C_3^3$ ); Spherical-like = the fourth-order Zernike coefficients ( $C_4^{-4}$ ,  $C_4^{-2}$ ,  $C_4^0$ ,  $C_4^2$ ,  $C_4^4$ ); HOT = higher order total: magnitude of the third to sixth-orders; RMS = root mean square.

\*p-value by paired T test between baseline value and postoperative: 2 weeks; †p-value by paired T test between baseline value and postoperative: 1 month; ‡p-value by paired T test between baseline value and postoperative: 3 months.

## 수정체 고위수차

섬유주절제술 병합 백내장수술군에서 코마수차와 구면수차, 전체고위수차 값이 수술 전보다 수술 후 2주째에 증가소견이 관찰되었으나 통계적 유의성은 없었다(Table 4). 백내장수술군에서 수술 전에 비하여 수술 후 2주째 코마수차( $p=0.005$ ), 구면수차( $p=0.008$ ) 및 전체 고위수차( $p=0.005$ ) 모두 유의하게 감소하였다(Table 4). 두 군 간의 고위수차 비교에서는 수술 전 코마수차( $p<0.001$ ), 구면수차( $p<0.001$ ) 및 전체 고위수차( $p<0.001$ ) 모두 섬유주절제술 병합 백내장수술군보다 백내장수술군에서 유의하게 더 높게 측정되었으며, 수술 후 2주째에는 어떤 고위수차 값에서도 두 군 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았다(Table 4). 섬유주절제술 병합 백내장수술군에서 수술 후 3개월까지 고위수차의 변화를 안구전체 고위수차, 각막 고위수차, 수정체 고위수

차로 구분하여 경과관찰한 결과, 각각의 고위수차 값에서 통계적으로 유의한 변화를 관찰할 수 없었다(Table 5).

## 고 찰

본 연구에서는 섬유주절제술 및 수정체유화술을 통한 녹내장 및 백내장 병합수술, 수정체유화술만을 시행한 백내장수술군을 나누어 섬유주절제술이 고위수차의 변화에 따른 시력의 질 변화에 어떤 영향을 미치는지 알아보고, 고위수차를 각막 고위수차, 수정체 고위수차를 구분하여 수술로 인해 시력의 변화에 더 크게 영향을 미치는 요소를 알아보고자 하였다. 녹내장 및 백내장이 합병되어 있는 환자의 경우 수술로 인하여 의미 있는 안압의 하강 및 시력의 호전

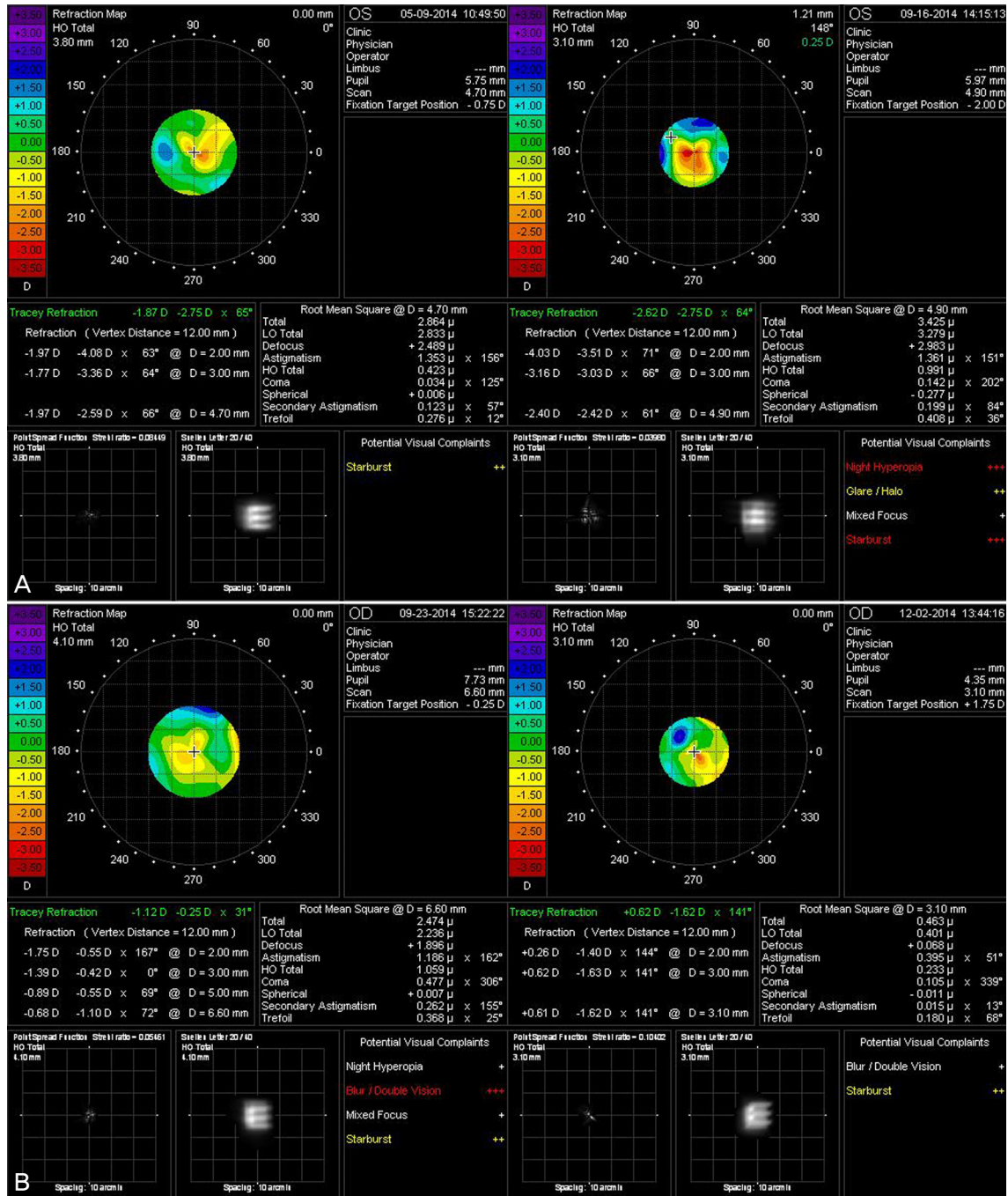


Figure 1. Images from topography. Change of high-order aberration, high-order aberrations were increased after three months from phacotrabeculectomy surgery (A, from 0.423  $\mu$ m to 0.991  $\mu$ m), and decreased after three months from phacemulsification surgery (B, from 1.059  $\mu$ m to 0.233  $\mu$ m).

이 관찰되었으나 고위수차의 의미 있는 변화는 확인할 수 없었다. 반면 백내장수술군을 통하여 의미 있는 시력의 변화는 물론 수술 후 고위수차의 감소로 시력의 질이 향상됨을 확인하였으며, 특히 수정체 고위수차의 뚜렷한 감소에 의한 안구전체 고위수차의 감소로 환자가 느끼는 시력 개선이 나타남을 관찰할 수 있었다(Fig. 1).

섬유주 절제술 후 발생하는 시력저하는 대개 일시적이며

원인은 수술 후의 각막 난시, 안축장의 변화, 전방 깊이 변화, 저안압, 눈물층 파괴, 망막부종 등으로 여겨지고 있다.<sup>13,14</sup> 또한 수술 성공률을 높이기 위해 사용하는 마이토마이신은 수술 상처의 회복을 더디게 하고 저안압 상태를 지속시키며 여과포의 누출 및 감염, 각막곡률변경의 변화를 유발하여 섬유주절제술 후 환자가 느끼는 시야흐림의 추가적인 원인이 된다.<sup>15</sup>

Kadowaki et al<sup>16</sup>는 섬유주절제술과 비천공형의 섬유주절제술을 받은 환자에서 난시 변화 관찰 결과, 수술 후 2주째 난시가 증가하고 3개월째 안정화되며 천공이 없는 수술에 비해 섬유주절제술 후 난시가 적게 발생함을 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 수술 전 백내장의 단계가 LOCS III 3단계 이상인 경우만 구분하여 실제 환자들의 수정체 경화 및 팽대 상태가 다양하였고 술 전 두 군 간 난시의 차이를 유발할 수 있는 여러 가지 다른 요소를 제한하지 않아 수술 전 두 군 간 난시의 차이가 관찰되지 않았고, 모든 대상 환자가 백내장수술을 시행하였으며, 술 후 2주째에 각막 절개창 봉합사의 상태가 시기별로 불규칙하여 두 군 간에 난시에서 일정한 변화의 경향이나 유의한 차이가 발견되지 않았을 것으로 여겨진다.

고위수차는 근시, 원시, 난시로 표현되는 저위수차와 제르니케 다항식으로 표현되는 코마수차, 구면수차 등으로 이루어진 고위수차로 구성된다. 최근 웨이브프론트 방식의 고위수차 측정이 가능해지면서 굴절교정수술, 백내장수술 등의 안과적 수술 후의 고위수차 변화 비교 및 수술 후 시력의 질 변화에 대한 연구가 가능해졌다.<sup>6,17</sup>

최근에 Fukuoka et al<sup>8</sup>은 녹내장 수술이 수술 전에 비하여 수술 후 1달째의 고위수차 증가의 하나의 원인이 될 수 있다는 것을 보여준 바가 있다. 또한 국내에서 펜타캠(Pentacam; Oculuc Inc., Dutehofen, Germany)으로 섬유주절제술 전후의 각막 고위수차의 변화를 측정한 결과 섬유주절제술 시행으로 인한 각막곡률, 각막 고위수차 등의 전방계측치들은 의미있는 변화가 관찰되지 않음을 보고한 바가 있다.<sup>9</sup> 일반적으로 백내장수술일 경우는 고위수차가 감소하여 0에 가까이 되는 고위수차의 호전이 관찰되며, 녹내장 수술일 경우는 고위수차가 일반적으로 증가하기에 이 두 가지를 병합하는 수술인 녹내장, 백내장 삼중수술을 받은 환자들에서 고위수차의 변화를 알아보고자 하였다.

수술 전 고위수차 측정 결과에서는 안구전체 고위수차, 각막 고위수차, 수정체 고위수차 모두에서 백내장 환자군이 녹내장 및 백내장이 합병된 환자군보다 높은 것을 확인할 수 있었다. 이에 대한 원인으로 녹내장으로 안압이 높은 경우, 중등도의 백내장이 있더라도 전방이 다소 얇은 경우 삼중수술을 같이 진행하는 경향이 있고, 백내장 단독군은 시력저하를 호소할 때 백내장수술을 시행하였으므로 당연히 차이가 있으리라고 기대했다. 그래서 본 연구의 주요소견은 백내장 단독 수술일 경우는 고위수차가 유의하게 감소하며, 녹내장 백내장 삼중수술일 경우는 증가하지만 백내장수술에 의해서 녹내장 수술에 의한 고위수차가 증가가 상쇄되어 통계적으로 유의하지 않은 고위수차의 증가가 관찰되었다.

Dietze et al<sup>18</sup>은 섬유주절제술 후 주요 변화로 안압 이외에도 수술 후 시력 및 난시의 변화를 보고한 바가 있다. 수술 후 1주째에는 전방 깊이의 변화에 따른 근시성 변화로 최대교정시력의 감소가 일어나며, 3주째 술 전의 시력으로 회복되었다. 그리고 섬유주절제술 1주 뒤 각막지형도의 변화로 유발된 최대교정시력이 수술 후 12주째 술 전의 시력으로 회복되었음을 보고하였다.<sup>18</sup> Kook et al<sup>15</sup>은 도난시와 직난시 환자들 모두 섬유주절제술 후 6개월까지 직난시로 변화하는 경향이 있었으며, 수술 후 전반적으로 안축장 및 전방깊이가 의미 있게 감소하였고 술 후 6개월까지 회복되는 양상이 관찰됨을 보고하였다. 또한 Hong et al<sup>19,20</sup>은 섬유주절제술 병합 백내장수술로 원발성 개방각녹내장 및 만성개방각녹내장환자에서 섬유주절제술과 같이 술 후 최대 15년까지 의미 있는 안압하강효과와 시야검사 소견이 개선됨을 보고하였다.

섬유주절제술후에 고위수차가 변화하는 이유에 대해서는 Fukuoka et al<sup>8</sup>이 섬유주절제술 후 수정체의 전방전위, 안축장의 감소와 상세불명의 원인들로 고위수차가 변화한다고 하였으며, Sugimoto et al<sup>21</sup>은 섬유주절제술 수술 후 2주 이내 시행하는 홍채절제술로 맥락막상강액이 발생하여 수술 후 수정체의 위치변화에 기여할 수 있다고 하였다.

본 연구의 제한점은 녹내장 백내장 삼중수술일 경우는 수술 후 3개월까지 측정하였으나 백내장군은 수술 후 경과 관찰 기간이 2주로 짧아 수술 직후의 변화에 대한 분석만 가능하며, 장기간 2군의 비교는 어려운 한계점이 있다. 그렇기 때문에 시간 경과에 따른 각각의 고위수차의 변화를 관찰해보지 못하였다. 그러나 백내장은 투명각막절개 무봉합 수정체 유화술로 하는 경우에는 대개 회복이 2주안에 일어나기에 3개월에 측정치와 큰 차이가 없을 수가 있고 본 연구는 삼중수술 안에서 변화를 보기 위한 연구이기 때문에 대조군이 3개월 때 측정하지 않은 것이 심각한 문제라고는 사료되지 않는다. 두 번째로 Hiraoka et al<sup>22</sup>은 소아에서 atropine 점안으로 전체안구의 고위수차가 증가할 수 있음을 보고한 바가 있어서 atropine 사용 여부가 영향을 미칠 것으로 사료되나 삼중수술일 경우 수술 후 전방이 충분한 경우에는 atropine을 쓰지 않았고 38안 중에 한 명에서만 atropine을 사용하여 본 연구에서는 수술 후 점안한 atropine sulfate의 영향이 미미하리라고 생각된다.

결론적으로 백내장 녹내장 삼중 수술과 백내장수술군 모두에서 수술 전후로 변화된 고위수차는 대부분 수정체 고위수차의 변화에 기인한 것임을 확인할 수 있었으며, 백내장수술군과 비교하여 백내장 및 녹내장 병합수술 환자군은 상대적으로 고위수차가 크지 않은 상태에서 수술을 받은 경우가 많고 이에 따라 수술 전후 고위수차 변화의 대부분



을 차지하는 수정체 고위수차의 변화가 백내장수술군보다 크지 않다는 것을 관찰하였다. 또한 섬유주절제술일 경우 전방깊이가 얕아지면서 고위수차가 커지는데, 삼중수술은 백내장수술을 동시에 하였기 때문에 그 영향이 다소 상쇄될 것으로 추정된다. 이러한 가설을 설명하기 위해서는 향후 전방 깊이의 변화와 삼중수술의 시각의 질에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- 1) Delbeke H, Stalmans I, Vandewalle E, Zeyen T. The effect of trabeculectomy on astigmatism. *J Glaucoma* 2016;25:e308-12.
- 2) Distelhorst JS, Hughes GM. Open-angle glaucoma. *Am Fam Physician* 2003;67:1937-44.
- 3) Cairns JE. Trabeculectomy. Preliminary report of a new method. *Am J Ophthalmol* 1968;66:673-9.
- 4) Chu L, Zhao JY, Zhang JS, et al. Optimal incision sites to reduce corneal aberration variations after small incision phacoemulsification cataract surgery. *Int J Ophthalmol* 2016;9:540-5.
- 5) Applegate RA, Howland HC, Sharp RP, et al. Corneal aberrations and visual performance after radial keratotomy. *J Refract Surg* 1998;14:397-407.
- 6) Oshika T, Klyce SD, Applegate RA, et al. Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 1999;127:1-7.
- 7) Marcos S. Aberrations and visual performance following standard laser vision correction. *J Refract Surg* 2001;17:S596-601.
- 8) Fukuoka S, Amano S, Honda N, et al. Effect of trabeculectomy on ocular and corneal higher order aberrations. *Jpn J Ophthalmol* 2011;55:460-6.
- 9) Kim BS, Kim BJ, Chung IY, et al. The changes of corneal high-order aberrations and anterior chamber parameters after trabeculectomy using Pentacam(R). *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:662-8.
- 10) Chylack LT Jr, Wolfe JK, Singer DM, et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol* 1993;111:831-6.
- 11) Cravy TV. Calculation of the change in corneal astigmatism following cataract extraction. *Ophthalmic Surg* 1979;10:38-49.
- 12) Holladay JT, Cravy TV, Koch DD. Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery. *J Cataract Refract Surg* 1992;18:429-43.
- 13) Matsuda T, Tanihara H, Hangai M, et al. Surgical results and complications of trabeculectomy with intraoperative application of mitomycin C. *Jpn J Ophthalmol* 1996;40:526-32.
- 14) Seah SK, Prata JA Jr, Minckler DS, et al. Hypotony following trabeculectomy. *J Glaucoma* 1995;4:73-9.
- 15) Kook MS, Kim HB, Lee SU. Short-term effect of mitomycin-C augmented trabeculectomy on axial length and corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:518-23.
- 16) Kadowaki H, Mizoguchi T, Kuroda S, et al. Surgically-induced astigmatism following single-site phacotrabeculectomy, phacotrabeculectomy and advanced non-penetrating phacotrabeculectomy. *Semin Ophthalmol* 2001;16:158-61.
- 17) Mierdel P, Kaemmerer M, Krinke HE, Seiler T. Effects of photorefractive keratectomy and cataract surgery on ocular optical errors of higher order. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1999;237:725-9.
- 18) Dietze PJ, Oram O, Kohnen T, et al. Visual function following trabeculectomy: effect on corneal topography and contrast sensitivity. *J Glaucoma* 1997;6:99-103.
- 19) Hong S, Park K, Ha SJ, et al. Long-term intraocular pressure control of trabeculectomy and triple procedure in primary open angle glaucoma and chronic primary angle closure glaucoma. *Ophthalmologica* 2007;221:395-401.
- 20) Hong S, Seong GJ, Hong YJ. Long-term intraocular pressure fluctuation and progressive visual field deterioration in patients with glaucoma and low intraocular pressures after a triple procedure. *Arch Ophthalmol* 2007;125:1010-3.
- 21) Sugimoto K, Ito K, Esaki K, et al. Supraciliochoroidal fluid at an early stage after trabeculectomy. *Jpn J Ophthalmol* 2002;46:548-52.
- 22) Hiraoka T, Miyata K, Nakamura Y, et al. Influences of cycloplegia with topical atropine on ocular higher-order aberrations. *Ophthalmology* 2013;120:8-13.



---

= 국문초록 =

## 섬유주절제술 병합 백내장수술 후 고위수차 변화

**목적:** 섬유주 절제술 병합 백내장수술(삼중수술)을 받은 환자에서 수술 전후의 고위수차의 변화를 알아보고, 대조군으로 백내장수술만 받은 환자의 고위수차의 변화를 비교, 분석하고자 하였다.

**대상과 방법:** 2013년 4월부터 2015년 12월까지 섬유주 절제술 병합 백내장수술을 받은 총 38명 38안을 대상으로 수술 전과 수술 후 2주, 4주, 3달 후의 시력, 안압, 고위수차를 측정하였으며, 이들의 변화를 비교하였다. 그리고 대조군으로 같은 기간에 백내장수술을 단독으로 받은 총 34명 34안을 대상으로 수술 전과 수술 후 2주의 고위수차의 변화를 비교하였다.

**결과:** 섬유주 절제술 병합 백내장수술을 받은 환자군에서, 안압은 유의하게 하강하였으며( $p<0.001$ ), 수술 후 안구전체, 각막 및 수정체 고위수차 각각에서 수술 후 2주째 전체고위수차, 코마수차, 구면수차 모두 증가한 이후 3개월까지는 감소하는 경향을 보였으나 통계적 유의성이 없었다. 백내장수술군에서는 수술 후 안구전체 및 수정체 고위수차에서 전체고위수차(각각  $p=0.006$ ,  $p=0.005$ ), 코마수차(각각  $p=0.006$ ,  $p=0.008$ ), 구면수차(각각  $p=0.006$ ,  $p=0.005$ ) 모두 감소하였다.

**결론:** 백내장 단독 수술일 경우에는 고위수차가 유의하게 감소하였으나, 섬유주 절제술 병합 백내장수술로 의미있는 고위수차의 변화는 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 백내장 단독군의 고위수차가 다소 높았다는 점과 섬유주절제술의 영향과 관련된 것으로 생각된다. <대한안과학회지 2017;58(6):676-684>

---