

백내장 종류에 따른 안내 수차의 패턴 분석

Analysis of Internal Optical Aberrations in Eyes with Different Types of Cataract

한지윤 · 엄영섭 · 임재원 · 강수연 · 김효명 · 송종석

Ji Yun Han, MD, Young Sub Eom, MD, Jay Won Rhim, MD, Su Yeon Kang, MD, Hyo Myung Kim, MD, PhD,
Jong Suk Song, MD, PhD

고려대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: The present study investigates the patterns of internal optical aberrations in eyes with different types of cataract.

Methods: Eighty eyes of 70 cataract patients were included in the present study. Internal optical aberrations were measured with a KR-1W wavefront aberrometer before cataract operation. Types of cataract were classified into three groups; cortical, nuclear and posterior subcapsular cataracts. The differences in the results of the wavefront data of 6-mm pupil diameter zones were compared among three groups. The Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney *U* test were used for comparing data.

Results: A total of 80 eyes consisting of 30 cortical cataracts, 30 nuclear cataracts and 20 posterior subcapsular cataracts were found. In the 6-mm pupil diameter zone, the average internal spherical aberrations by original value were 0.042 μm of cortical cataracts, -0.092 μm of nuclear cataracts and -0.109 μm of posterior subcapsular cataracts. The average internal spherical aberrations by absolute value were 0.122 μm of cortical cataracts, 0.533 μm of nuclear cataracts and 0.202 μm of posterior subcapsular cataracts. The internal spherical aberrations by original value were not statistically significantly different, but by absolute value were statistically significantly different ($p = 0.003$, Kruskal-Wallis test). Nuclear cataracts have a much higher positive or negative value than other cataract groups in the distribution of internal spherical aberrations by original value for each type of cataract. Other than this difference, the internal astigmatism and internal high order aberrations were not statistically significantly different.

Conclusions: The change in internal spherical aberrations of nuclear cataract from the original value was larger than cortical and posterior subcapsular cataract. Therefore, nuclear cataracts have much higher positive or negative values than other cataract groups.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(4):532-540

Key Words: Different types of cataract, Internal optical aberrations, Internal spherical aberrations

■ Received: 2014. 7. 21. ■ Revised: 2015. 2. 12.

■ Accepted: 2015. 3. 24.

■ Address reprint requests to **Jong Suk Song, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Korea University Guro Hospital,
#148 Gurodong-ro, Guro-gu, Seoul 152-703, Korea
Tel: 82-2-2626-3178, Fax: 82-2-857-8580
E-mail: crisim@korea.ac.kr

* This study was presented as a narration at the 110th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2013.

* This study was partially supported by the Korea University Ophthalmology Alumni Fund.

빛 번짐, 눈부심, 대비감도 감소 등에 따른 시기능 저하가 단순 굴절 이상만으로는 충분히 설명하기에 부족하며, 고위 수차와 연관성이 있다는 연구들이 보고됨에 따라 백내장 수술 후 시력 향상 및 환자의 만족도에 있어 고위 수차의 중요성은 점점 증가하고 있다.¹⁻⁶

노화에 따른 안구 수차의 변화에 대한 이전 연구에서 연령이 증가할수록 안구 구면 수차(ocular spherical aberration)와 안구 코마(ocular coma) 값이 증가하는데, 이러한 변화 중 안구 구면 수차의 증가는 주로 안내 구면 수차

(internal spherical aberration) 변화에 의해 나타나며, 안구 코마 값의 증가는 주로 각막 코마(corneal coma) 값의 변화에 의해 나타난다고 하였다.⁷ 또한 백내장 환자에서 고위수차를 비교한 이전 연구에서 피질백내장(cortical cataract)의 경우 안구 코마 값이 우세하고, 핵백내장(nuclear cataract)에서는 안구 구면 수차 값이 우세하다고 보고하였다.⁸

그러나 기존의 연구들은 안구의 전체 수차를 평가하거나 각막의 수차만을 평가한 경우가 대부분이었고, 수정체의 변화나 백내장 자체에 의해 좀 더 실제적인 변화를 보일 수

있는 안내 수차를 평가하지 않아, 백내장의 종류에 따라 안내 수차가 어떻게 달라지는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 안구 전체와 각막의 수차는 물론 이 두 값을 이용하여 안내 수차에 대한 정보를 따로 제시하는 KR-1W 수차계를 이용하여 백내장 종류에 따라 안내 수차의 양상에 어떠한 차이가 있는지 알아보하고자 하였다.

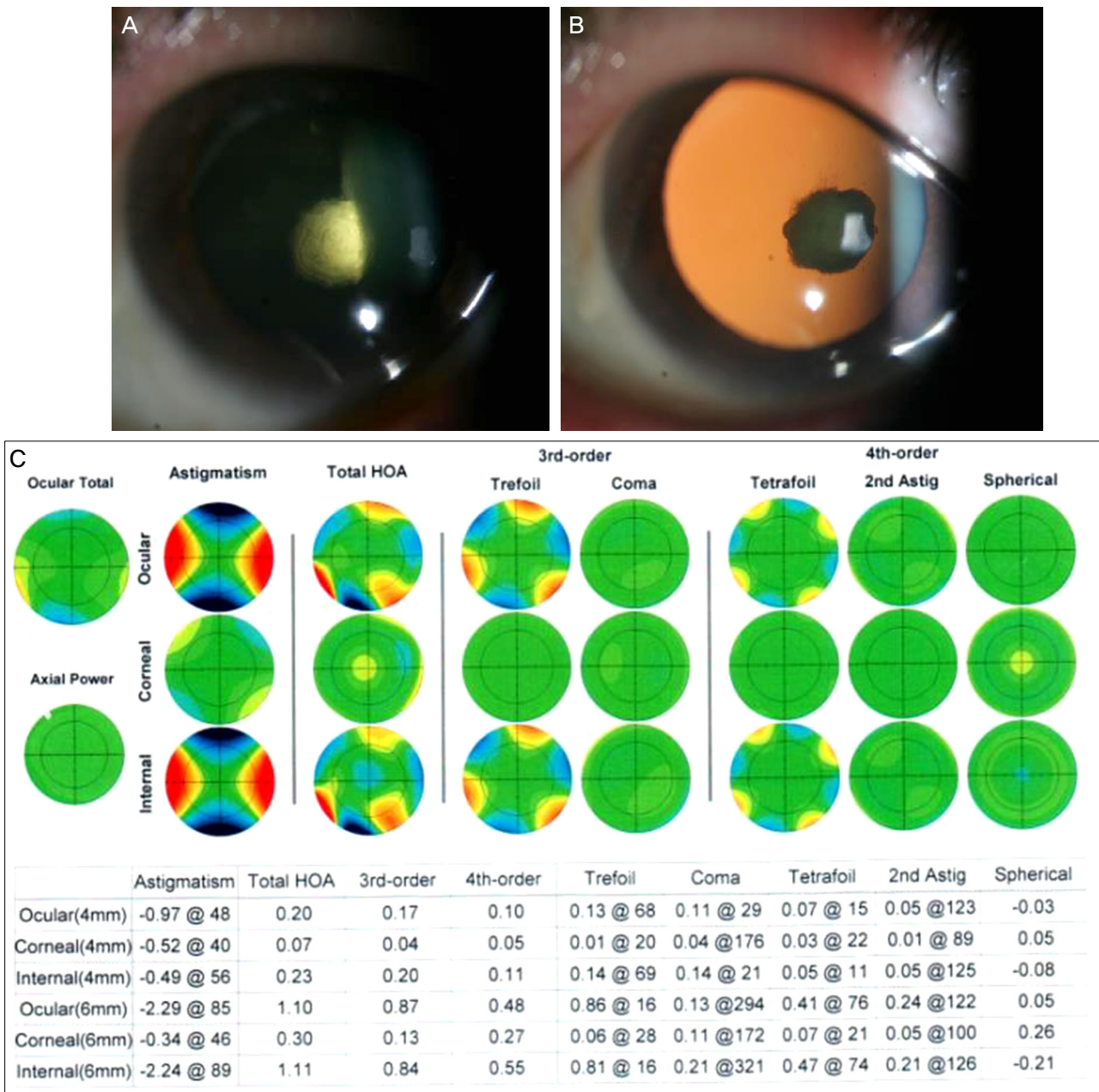


Figure 1. A case of posterior subcapsular cataract that was completely examined all of the aberration data using KR-1W. (A) A slit photo showed a posterior subcapsular cataract (NO1, NC2, C1, P4 in LOCS III score). (B) A photo with retroillumination. (C) The result of KR-1W wavefront aberrometer in this case. Astig = astigmatism; HOA = high order aberrations.

대상과 방법

본 연구는 후향적 연구로서 2011년 8월부터 2013년 3월 까지 본원에 백내장 수술을 받고자 내원한 환자 중 수술 전 검사로 KR-1W 수차계(Topcon Corp., Tokyo, Japan)를 이용하여 안내 수차를 측정한 70명 80안을 대상으로 의무기록을 분석하였다.

백내장의 분류는 피질과 후낭하 혼탁을 5단계, 핵을 혼탁과 색조에 따라서 각기 6단계로 분류한 lens opacities classification system III (LOCS III)⁹을 기준으로 하여 피질백내장, 핵백내장, 후낭하백내장 세 그룹으로 분류하였다. 피질백내장은 C3 이상이면서 NO2, NC2 이하인 경우를 대상으로 하였고, 핵백내장은 NO3, NC3 이상이면서 C2 이하인 경우를 대상으로 하였다. 또한 후낭하백내장은 P3 이상이면서 N2, C2 이하인 경우를 대상으로 하였으며, 모든 그룹에서 P1, P2인 경우는 제외하였다.

KR-1W 안구수차계는 Hartmann Shack 방식으로 황반부에 조사된 레이저가 반사되어 눈을 통과하여 나올 때 발생하는 수차를 바둑판 모양의 렌즈군과 charge-coupled device (CCD)에서 동시에 기록함으로써 수차를 측정한다. 또한 각막지형도를 이용하여 동시에 각막의 수차를 측정하고, 같은 중심축을 기준으로 측정한 전체 안구의 수차와 각막의

수차를 이용하여 안내 수차를 계산하여 나타낸다.^{10,11} 이 검사는 산동제(phenylephrine chloride 0.5% + tropicamide 0.5%) (Mydrin-P, Santen, Osaka, Japan)를 10분 간격으로 3회 점안하여 산동한 후 외부 빛이 유입되지 않는 암실에서 측정하였으며, 이를 통해 얻은 동공지름 6 mm 범위에서의 안내 수차 값이 백내장 종류에 따라 어떠한 차이를 보이는지 알아보았다. 이때 안구 수차와 각막 수차, 안내 수차 중 어느 하나라도 측정이 되지 않은 경우는 모두 제외하고, 모든 결과가 정확히 측정된 데이터만 포함하였다(Fig. 1).

자료의 통계분석은 SPSS 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였으며 얻어진 자료가 정규분포를 하지 않는 것으로 나타나 독립표본 비모수 검정방법으로 분석하였다. 세 그룹 간의 비교는 Kruskal-Wallis test를 이용하였고, 세 그룹 간 비교에서 유의한 차이가 있는 경우에 Mann-Whitney U test를 이용하여 두 그룹씩 각각 비교하였다. *p*값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

결 과

총 70명 80안의 백내장 환자가 본 연구에 포함되었으며, 이들의 평균 연령은 59.08 (±8.73) (range, 32-88)세였고 남성인 23안(22명), 여성인 57안(48명)이었다. 백내장 종류에

Table 1. Demographic characteristics

| | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|
| Sex (M/F) (number of eyes, patients) | 23 (22)/57 (48) | |
| Total mean age ± SD (years, range) | 59.08 ± 8.73 (32-88) | |
| Type of cataract | No. of eyes (mean age ± SD) | <i>p</i> -value* |
| Cortical opacity | 30 (59.13 ± 5.077) | 0.808 |
| Nuclear opacity | 30 (59.43 ± 10.04) | |
| Posterior subcapsular opacity | 20 (58.45 ± 11.11) | |

*Kruskal-Wallis test (*p* < 0.05 significant).

Table 2. The average of internal astigmatism and internal high order aberrations on 6-mm diameter zone (root mean square value)

| | Astig. | Total HOA | 3rd order HOA | 4th order HOA | Trefoil | Coma | Tetrafoil | 2nd Astig. |
|-----------------|---------|-----------|---------------|---------------|---------|-------|-----------|------------|
| CO | -0.9467 | 0.566 | 0.403 | 0.283 | 0.280 | 0.272 | 0.182 | 0.139 |
| NS | -1.097 | 0.884 | 0.526 | 0.650 | 0.223 | 0.451 | 0.170 | 0.175 |
| PSCO | -1.1375 | 0.708 | 0.524 | 0.355 | 0.254 | 0.402 | 0.136 | 0.191 |
| <i>p</i> -value | 0.343 | 0.280 | 0.728 | 0.031 | 0.644 | 0.215 | 0.087 | 0.868 |

The internal astigmatism and internal high order aberrations were not statistically significantly different except for 4th order high order aberrations. Astig = astigmatism; HOA = high order aberrations; CO = cortical opacity; NS = nuclear sclerosis; PSCO = posterior subcapsular opacity.

Table 3. The average of internal spherical aberrations by original value and absolute value on 6-mm diameter zone

| | CO | NS | PSCO | <i>p</i> -value |
|----------------------------|-------|--------|--------|-----------------|
| Internal SA (original, μm) | 0.042 | -0.092 | -0.109 | 0.053 |
| Internal SA (absolute, μm) | 0.122 | 0.533 | 0.202 | 0.003 |

The internal spherical aberrations by original value were not statistically significantly different, but by absolute value were statistically significantly different.

SA = spherical aberrations; Absolute = absolute value; Original = original value; CO = cortical opacity; NS = nuclear sclerosis; PSCO = posterior subcapsular opacity.

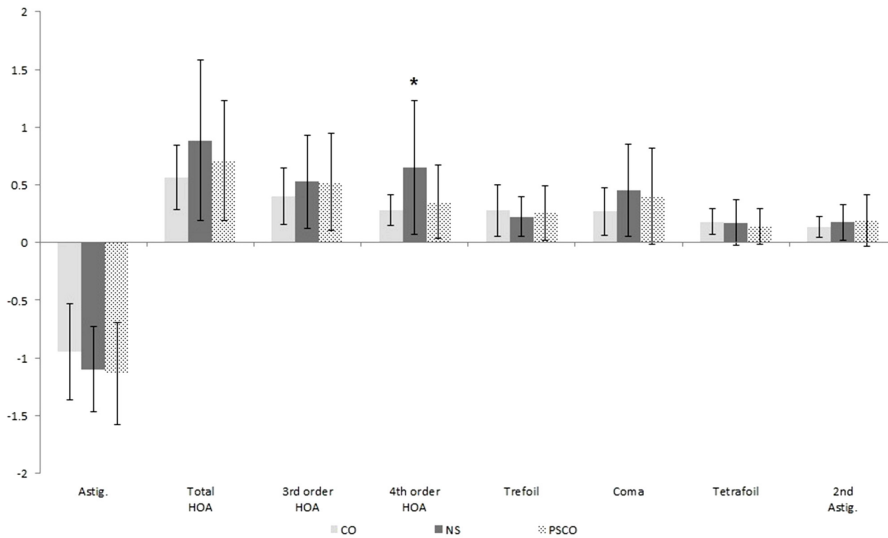


Figure 2. The average of internal astigmatism and internal high order aberrations on 6-mm diameter zone. The internal astigmatism and internal high order aberrations were not statistically significantly different except for 4th order high order aberrations ($p = 0.031$, Kruskal-Wallis test). Astig = astigmatism; HOA = high order aberrations; CO = cortical opacity; NS = nuclear sclerosis; PSCO = posterior subcapsular opacity. * $p < 0.05$ based on Kruskal-Wallis test.

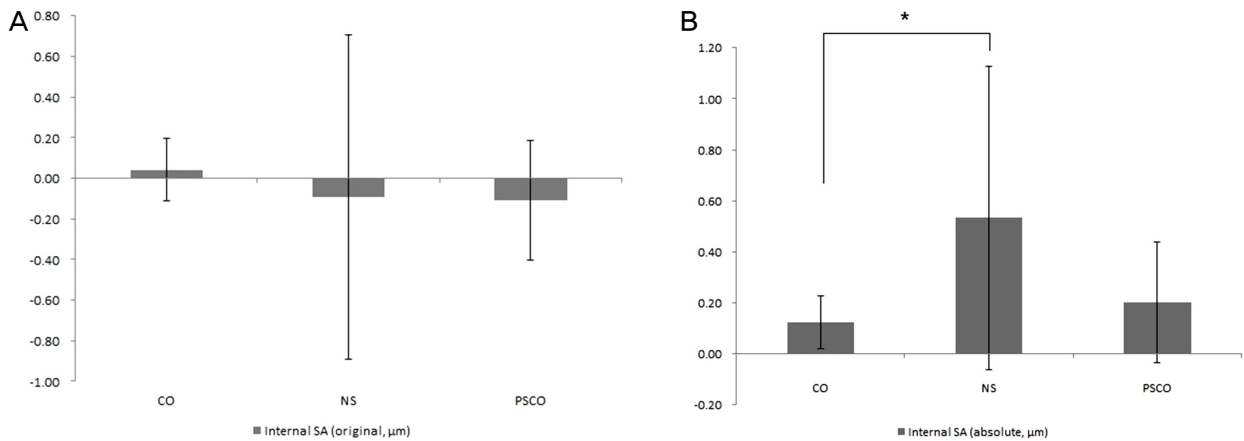


Figure 3. The average of internal spherical aberrations by original value and absolute value on 6-mm diameter zone. SA = spherical aberrations; Absolute = absolute value; Original = original value; CO = cortical opacity; NS = nuclear opacity; PSCO = posterior subcapsular opacity. * $p < 0.017$ based on Bonferroni-corrected post hoc Mann-Whitney U test. (A) The internal spherical aberrations by original value were not statistically significantly different. (B) The internal spherical aberrations by absolute value were statistically significantly different.

Table 4. The internal spherical aberrations by absolute value were statistically significantly different between cataract group of cortical opacity and nuclear opacity

| | CO vs NS | NS vs PSCO | CO vs PSCO |
|-------------|----------|------------|------------|
| p -value* | 0.001 | 0.043 | 0.347 |

The internal spherical aberrations by absolute value were not statistically significantly different between cataract group of nuclear opacity and posterior subcapsular opacity, cortical opacity and posterior subcapsular opacity.

CO = cortical opacity; NS = nuclear sclerosis; PSCO = posterior subcapsular opacity.

*Bonferroni-corrected post hoc Mann-Whitney U test for comparisons between two groups ($p < 0.017$ significant).

따른 분류는 피질백내장 30안, 핵백내장 30안, 후낭하백내장 20안이었고, 그룹 간 연령별 차이는 없었다(Table 1).

동공 지름 6 mm 범위에서 안내 난시(Internal Astigmatism) 및 고위 수차(High order aberrations) 값은 세 그룹 간에 비교했을 때 4차 고위 수차만 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 그 외에는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2)

(Fig. 2). 안내 구면수차(Internal spherical aberrations) 값은 고유값으로 비교했을 때 음성과 양성의 값이 존재하여 세 그룹 간에 유의한 차이가 없었지만, 고유값을 절대값으로 바꾸어 비교했을 때는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3) (Fig. 3). 또한 절대값으로 두 그룹씩 다시 비교했을 때 피질백내장과 핵백내장 간에는 유의한 차이를 보였

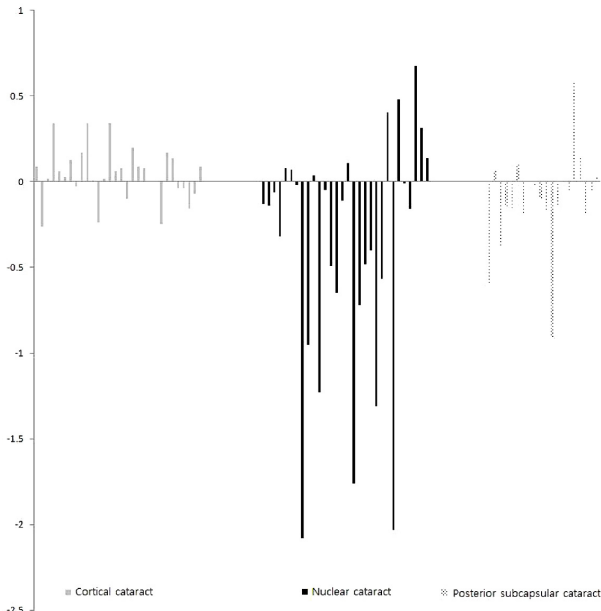


Figure 4. The distribution of internal spherical aberrations by original value for each type of cataract.

지만, 핵백내장과 후낭하백내장, 피질백내장과 후낭하백내장 간에는 유의한 차이가 없었다(Table 4).

그룹별 안내 구면수차의 비교를 고유값으로 했을 때는 차이가 없었으나 절대값으로 했을 때 핵 백내장에서 유의하게 높은 소견을 보여, 각 백내장 종류에 따라 안내 구면수차의 고유값 분포를 그래프로 나타낸 결과(Fig. 4) 큰 양이나 음의 값을 보인 경우는 대부분 핵백내장으로, $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 이상인 경우가 피질백내장은 0%, 핵백내장 33.3% (10안/30안), 후낭하백내장 15% (3안/20안)로 핵백내장에서 높은 양의 값이나 높은 음의 값을 보이는 경우가 통계적으로 유의하게 더 많았다($p=0.002$, Kruskal-Wallis test).

고 찰

수차는 렌즈 등의 광학계에서 상을 맺을 때 원거리에서 오는 평행광선은 광학계를 지난 다음 한 점에 맺혀야 하지만, 한 점에 모이지 않아 빛 번짐이 있거나 일그러져 보이는 현상을 말하며,¹² 고위수차는 일반 안경이나 콘택트렌즈로 교정이 불가능한 모든 굴절이상 또는 불규칙난시를 일컫는 용어로 코마(coma), 트레포일(trefoil), 구면수차(spherical aberration) 등의 용어와 Zernike 계수로 표현된다.¹³

고위 수차와 관련한 이전 연구를 보면, Applegate et al^{2,14}은 Zernike 표의 중심부에 가까운 수차(코마, 구면수차, 2차 난시(2nd astigmatism) 등)일수록 Zernike 표 주변부에 있는 수차보다 물체의 상이 왜곡되어 보이고, 시력의 질이 저하되는 데 더 큰 영향을 미친다고 보고하였고, Amano et al⁷

은 연령이 증가할수록 안구 구면수차와 안구 코마 값 모두 증가하는데, 안구 구면수차는 각막 구면수차보다 주로 수정체 혼탁에 의한 안내 구면수차 변화와 연관이 있으며, 안구 코마 값은 안내 코마 값보다 주로 노화에 따른 각막의 변화와 더 연관이 있다고 보고하였다. 또한 Rocha et al⁸은 백내장 종류에 따라 피질백내장에서 안구 코마 값이 우세하며, 핵백내장에서 안구 구면수차 값이 더 우세하다고 하였다.

본 연구에서는 동공 지름 6 mm 범위에서 안내 난시 및 고위 수차 값을 백내장 종류에 따른 세 그룹으로 나눠 비교했을 때 4차 고위 수차만이 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 그 외에 코마, 구면수차, 2차 난시 등 다른 항목에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서 코마 값이 유의한 차이를 보이지 않은 것은 코마가 각막의 변화와 더 연관이 있다는 기존의 연구 결과로 미루어 보아 안구 수차에서 각막 수차의 값을 뺀 안내 수차 값만을 비교했기 때문이라고 생각한다.

또한 구면수차와 관련한 기존 연구들을 보면, Kuroda et al¹⁵은 핵백내장 6안과 피질백내장 18안, 백내장이 없는 정상안 9안을 대상으로 한 연구에서 핵백내장에서 단일 고위 수차 값으로 가장 우세한 것은 구면수차이며, 그룹별로 안구 구면수차(Ocular spherical aberrations) 값을 비교한 결과 대부분 양의 값을 보인 정상안이나 피질백내장과는 달리 모든 핵백내장 환자에서 구면수차 값이 평균 $-1.274 \pm 0.733 \mu\text{m}$ 로 전부 음의 값을 보인다고 하였고, Lee et al¹⁶은 33안을 대상으로 하여 연령에 따라 핵백내장의 grade는 증가하였고, 안내 구면수차의 평균 값은 $-0.38 \pm 0.86 \mu\text{m}$ 로 핵백내장의 grade가 증가할수록 안내 구면수차 값은 감소하는 음의 상관관계를 보인다고 하였다($r=-0.450$, $p=0.009$).

하지만 이러한 연구들과 달리, Alió et al¹⁷은 정상안 72안을 대상으로 한 연구에서 안내 구면수차는 양의 값을 보인 경우와 음의 값을 보인 경우 둘 다 있었지만, 연령이 증가할수록 안내 구면수차 값이 증가하는 양상의 양의 상관관계를 보인다고 하였고($r=0.382$, $p=0.001$), Sachdev et al¹⁸은 정도에서 중등도 사이의 핵백내장 10안, 피질백내장 10안, 정상안 20안을 대상으로 하여 핵백내장에서 가장 우세한 고위수차가 구면수차이며, 안내 구면수차의 평균값이 핵백내장 $0.518 \pm 0.486 \mu\text{m}$, 정상안 $0.150 \pm 0.124 \mu\text{m}$ 로 핵백내장에서 정상안에 비해 통계적으로 유의하게 더 큰 안내 구면수차 값을 가진다고 하였다. 이는 앞서 언급한 논문들과 비교했을 때 핵백내장에서 구면수차가 가장 우세한 고위수차라는 연구결과는 비슷하게 나왔지만, 구면수차가 양의 값 또는 음의 값 중 어떤 값을 보이는지와 연령과 백내장 grade와의 상관관계 등에 있어서는 상반된 결과를 나타내

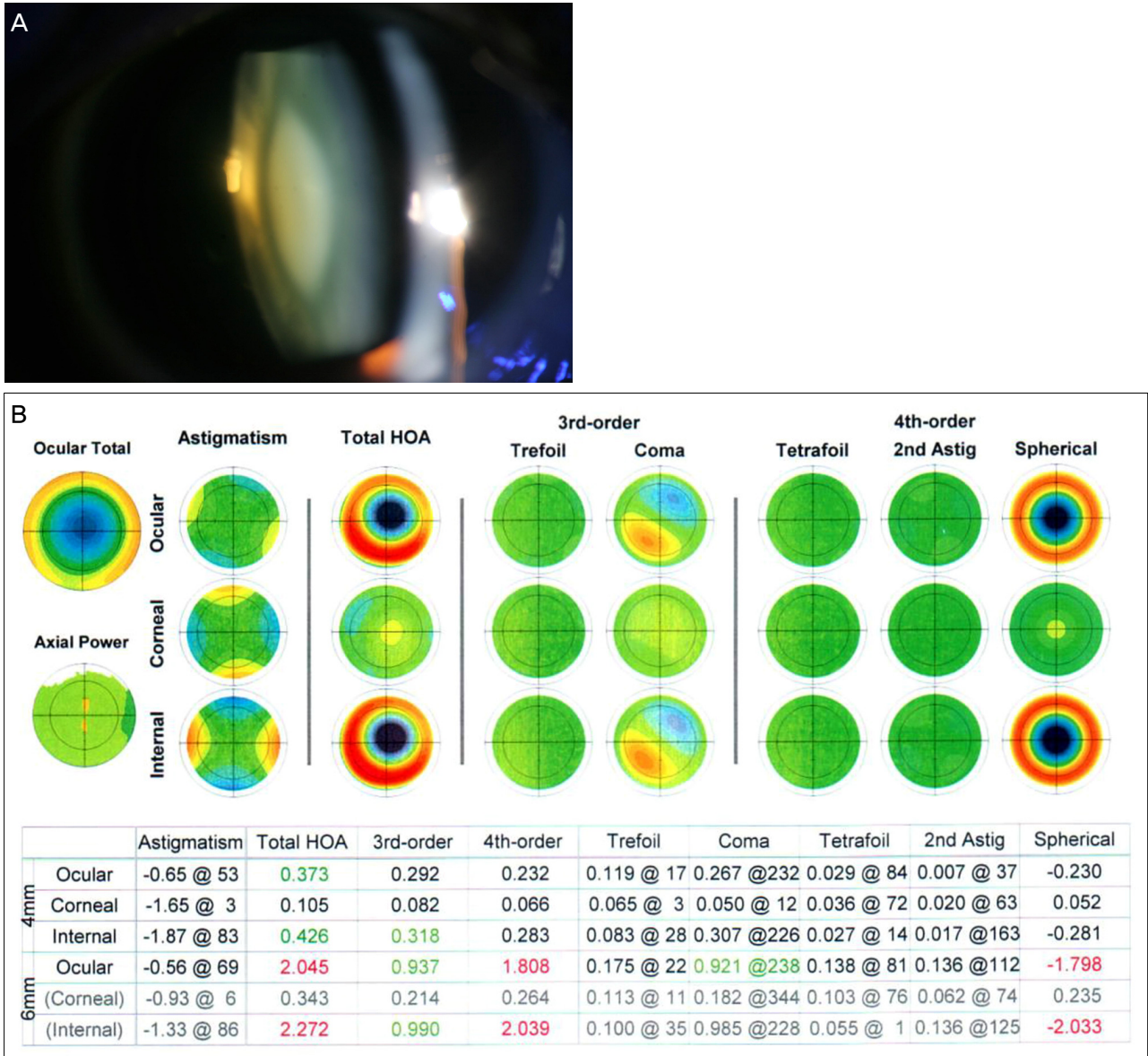


Figure 5. A case of nuclear cataract that had highly negative spherical aberration. The HOA map of ocular wavefront shows a delay of light (cool color) in the central pupillary area. In the color-coded map, cool color represents relatively delayed wavefront and a warm color represents relatively advanced wavefront. (A) A slit photo showed a nuclear cataract (NO4, NC4, C1 in LOCS III score). (B) The result of KR-1W wavefront aberrometer in this case. HOA = high order aberrations.

고 있다.

본 연구에서는 백내장 종류에 따른 세 그룹 간에 안내 구면수차의 평균을 고유값으로 비교했을 때는 유의한 차이가 없었으나, 절대값으로 비교했을 때는 핵백내장에서 피질백내장이나 후낭하백내장 그룹에 비해 통계적으로 유의하게 더 큰 평균값을 보이며, 핵백내장에서 다른 그룹에 비해 안내 구면수차 값이 상대적으로 더 높은 양의 값 또는 음의 값을 보이는 경우가 많았다. 핵백내장 그룹에서 안내 구면수차가 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 보다 높은 양의 값과 음의 값을 보이는 경우를 살펴보면, 먼저 높은 음의 값을 보이는 경우는 색 코

드 지도상에서 중심부가 청색 계열, 주변부가 적색 계열로 나타나는데 이는 핵경화가 동공 중심부 쪽에 심하여 주변부에 비해 상대적으로 파동 진행이 느려지기 때문이라 생각한다(Fig. 5).¹⁵ 또한 높은 양의 값을 보이는 경우는 핵경화가 중심부에 국한되지 않고 수정체 주변부까지 생겨 색 코드 지도상에서 청색 계열이 주변부에 나타나는 것을 볼 수 있는 경우였다(Fig. 6). 따라서 기존 연구들에서 안내 구면수차에 대해 상반된 결과를 보였던 것은 수정체의 핵경화 상태에 따라 안내 구면수차가 양의 값 또는 음의 값으로 변하기 때문이라 생각한다.

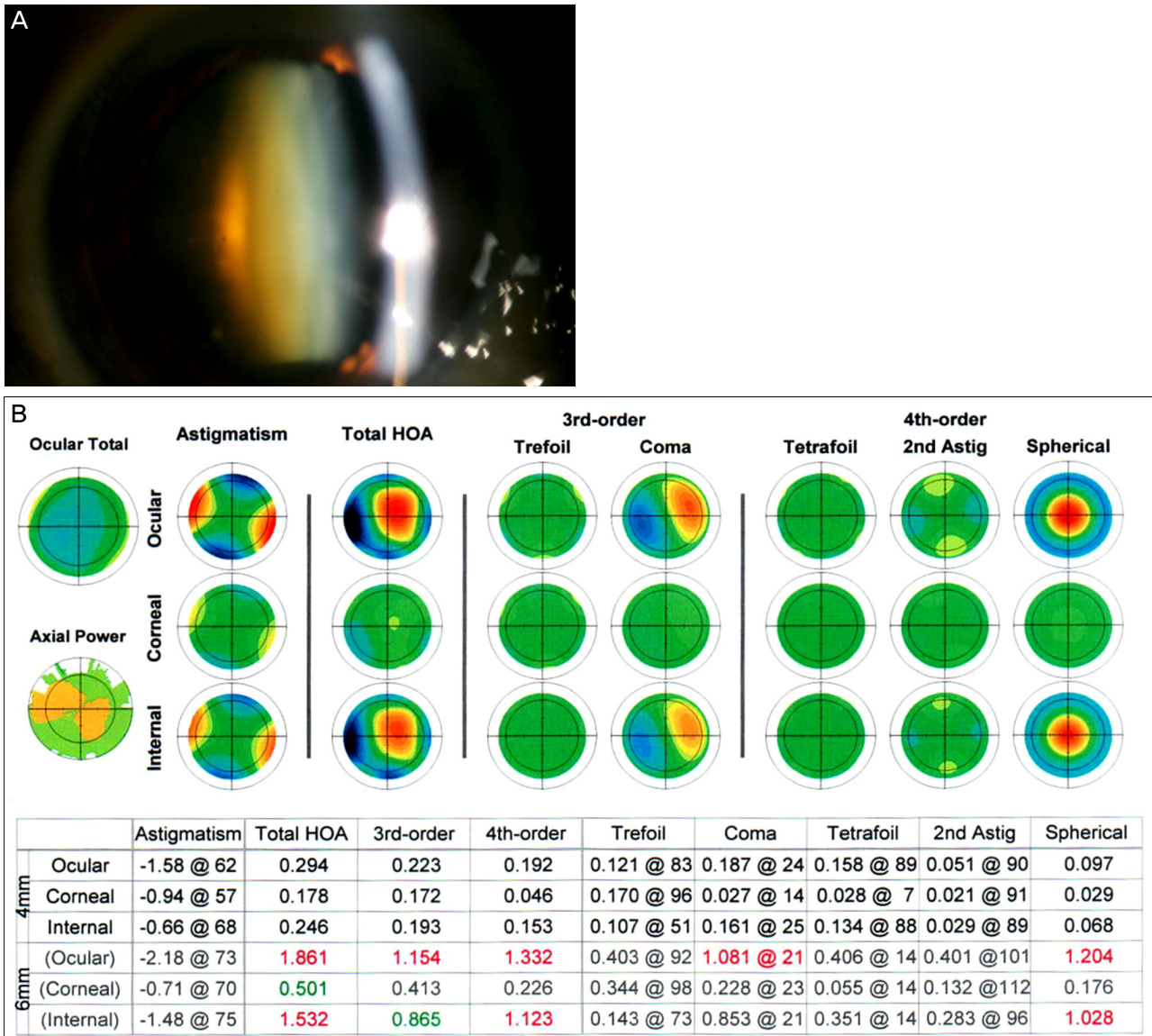


Figure 6. A case of nuclear cataract that had highly positive spherical aberration. The HOA map of ocular wavefront shows a delay of light (cool color) in the periphery. (A) A slit photo showed a nuclear cataract (NO5, NC5, C2 in LOCS III score). (B) The result of KR-1W wavefront aberrometer in this case. HOA = high order aberrations.

Dubbelman et al^{19,20}은 조절 과정에서 수정체 중심부의 상대적 비대와 수정체 앞면의 곡률 반경의 변화가 구면수차의 변화에 영향을 미친다고 보고한 바 있고, Yoo et al²¹은 정상인을 대상으로 하여 동공 지름 6 mm 범위에서 산동 전후 각막 구면수차 값은 차이가 없었으나, 안구와 안내 구면수차는 산동 후에 유의하게 음의 방향으로 증가하였으며 이는 산동제의 조절마비 효과에 의해 수정체 표면이 원뿔 곡선형(conoid shape)으로 변화하기 때문이라고 보고하였다. 본 연구에서는 환자에 따라서 동공의 크기가 6 mm보다 작아 동공 지름 6 mm 범위의 수차 값이 측정되지 않을 수 있어 산동을 시행한 후 측정을 하였으며, 산동이 안내 구면수차에 영향을 미칠 수 있지만 세 그룹 간 평균 연령의

차이가 없어 조절에 의한 영향이 어느 한 그룹에 더 많이 영향을 주지 않았으리라 생각한다.

본 연구의 한계점으로는 백내장을 분류하는 데 있어서 후향적으로 의무기록에 따라 세 가지 백내장 종류 중 가장 영향이 있다고 판단되는 백내장 종류로 분류하였다는 점이다. 피질, 핵, 후낭하 혼탁이 모두 심하게 있는 경우는 연구의 대상에서 제외하였으나, 본 대상 중 분류된 형태 이외의 다른 부분의 혼탁이 고위수차를 분석하는 데 다소 영향을 줄 수 있으리라 생각을 한다. 또한 안내 수차 분석에 있어 각막 후면의 영향이 있을 수 있으나 각막 후면 수차에 대한 분석이 따로 이루어지지 않았고, 그룹별 대상 환자 수가 20안 또는 30안으로 비교적 적다는 점, 백내장 그룹과 비교할

수 있는 정상안 그룹이 없다는 점, 난시 평가에서 난시 축에 대한 고려가 없었다는 점이 이 연구의 제한점이라고 할 수 있다.

결론적으로, 안내 구면수차가 높은 양의 값이나 음의 값을 가질 경우 백내장 혼탁에 있어 핵경화의 분포상태를 예측하는 데 참고하는 데이터로 이용할 수 있을 것이라 생각하며, 추후 더 많은 환자를 대상으로 백내장 혼탁의 중증도와 안내 수차와의 상관관계에 대한 연구도 이루어진다면 임상적으로 더 가치가 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- Porter J, Guirao A, Cox IG, Williams DR. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2001;18:1793-803.
- Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver EJ. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1487-95.
- Kuroda T, Fujikado T, Ninomiya S, et al. Effect of aging on ocular light scatter and higher order aberrations. *J Refract Surg* 2002;18:S598-602.
- Donnelly WJ 3rd, Pesudovs K, Marsack JD, et al. Quantifying scatter in Shack-Hartmann images to evaluate nuclear cataract. *J Refract Surg* 2004;20:S515-22.
- Marcos S. Aberrations and visual performance following standard laser vision correction. *J Refract Surg* 2001;17:S596-601.
- Tomidokoro A, Soya K, Miyata K, et al. Corneal irregular astigmatism and contrast sensitivity after photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 2001;108:2209-12.
- Amano S, Amano Y, Yamagami S, et al. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations. *Am J Ophthalmol* 2004;137:988-92.
- Rocha KM, Nosé W, Bottós K, et al. Higher-order aberrations of age-related cataract. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1442-6.
- 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.
- Piñero DP, Juan JT, Alió JL. Intrasubject repeatability of internal aberrometry obtained with a new integrated aberrometer. *J Refract Surg* 2011;27:509-17.
- Jeong JH, Kim MJ, Tchah HW. Clinical comparison of laser ray tracing aberrometer and shack-hartmann aberrometer. *J Korean Ophthalmol Soc* 2006;47:1911-9.
- Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis* 2001;1:1-8.
- Artal P, Guirao A. Contributions of the cornea and the lens to the aberrations of the human eye. *Opt Lett* 1998;23:1713-5.
- Applegate RA, Sarver EJ, Khemsara V. Are all aberrations equal? *J Refract Surg* 2002;18:S556-62.
- Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, et al. Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract. *Am J Ophthalmol* 2002;134:1-9.
- Lee J, Kim MJ, Tchah H. Higher-order aberrations induced by nuclear cataract. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:2104-9.
- Alió JL, Schimchak P, Negri HP, Montés-Micó R. Crystalline lens optical dysfunction through aging. *Ophthalmology* 2005;112:2022-9.
- Sachdev N, Ormonde SE, Sherwin T, McGhee CN. Higher-order aberrations of lenticular opacities. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1642-8.
- Dubbelman M, Van der Heijde GL, Weeber HA. Change in shape of the aging human crystalline lens with accommodation. *Vision Res* 2005;45:117-32.
- Dubbelman M, Van der Heijde GL, Weeber HA, Vrensen GF. Changes in the internal structure of the human crystalline lens with age and accommodation. *Vision Res* 2003;43:2363-75.
- Yoo EJ, Kang SY, Kim HM, Song JS. The effects of pharmacologic pupil dilatation on ocular, corneal, and internal aberrations. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:581-6.

= 국문초록 =

백내장 종류에 따른 안내 수차의 패턴 분석

목적: 안구의 전체 수차가 아닌 수정체의 변화에 의해 주로 나타나는 안내 수차를 이용하여 백내장 종류에 따라 어떠한 차이가 있는지 알아보려고 하였다.

대상과 방법: 백내장 수술을 받고자 내원한 환자 70명 80안을 대상으로 수술 전 검사로 KR-1W 수차계를 이용하여 안내 수차를 측정 한 환자에서 백내장 종류(피질백내장, 핵백내장, 후낭하백내장)에 따라 동공 지름 6 mm 범위에서의 안내 수차의 값과 그 수치의 절대 값을 독립표본 비모수 검정을 통해 비교하여 그 차이를 알아보았다.

결과: 전체 80안 중 피질백내장 30안, 핵백내장 30안, 후낭하백내장 20안이었고, 동공 지름 6 mm 범위에서 안내 구면수차의 고유값 평균은 피질백내장 0.042 μm , 핵백내장 -0.092 μm , 후낭하백내장 -0.109 μm 로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 절대값으로 비교했을 때는 피질백내장 0.122 μm , 핵백내장 0.533 μm , 후낭하백내장 0.202 μm 로 핵백내장이 다른 두 백내장에 비해 유의하게 더 컸다($p=0.003$, Kruskal-Wallis test). 또한 백내장 그룹별로 안내 구면수차의 분포를 보았을 때 높은 양의 값 또는 음의 값을 갖는 경우는 대부분 핵백내장이었다. 그 외에 안내 난시나 코마 등 다른 고위수차 값은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

결론: 백내장의 종류에 따라 안내 구면수차 값을 비교한 결과 핵백내장의 경우 피질백내장이나 후낭하백내장에 비해 안내 구면수차 값의 변화가 컸고, 높은 양의 값이나 높은 음의 값을 갖는 경우가 많았다.

〈대한안과학회지 2015;56(4):532-540〉
