

## 백내장 수술에 의한 각막수차의 변화

오현철 · 이동준 · 박우찬

동아대학교 의과대학 안과학교실

**목적:** 백내장 수술에 의한 각막수차의 변화를 Pentacam®을 이용하여 각막의 전, 후면으로 나누어 알아보고자 하였다.

**대상과 방법:** 3 mm 상측부 각공막절개창을 통하여 수정체유화술을 시행받은 환자 30명 32안을 대상으로 하였다. 각막수차의 측정은 Pentacam®을 이용하여 술 후 1주, 1개월에 측정하였고, 이를 술 전 값과 비교하였다. 수차분석은 직경 6.0 mm의 각막을 대상으로 Zernike 계수를 기준으로 하여 시행하였다.

**결과:** 각막 전면수차의 경우 술 후 1주째 Z(4,-2) 및 술 후 1개월째 Z (3,-3)가 통계적으로 유의한 변화를 보인 반면 ( $p < 0.05$ ), 각막 후면수차의 경우 술 후 1주째 Z (2,-2), Z (2,0), Z (2,2), Z (3,1), Z (4,-4), Z (4,-2)가 술 전에 비해 통계적으로 유의한 변화를 보였으며 ( $p < 0.05$ ), 술 후 1개월째에는 유의한 변화를 보이지 않았다.

**결론:** 술 후 1주째 각막전면보다 후면에서 수차가 통계적으로 의미 있는 변화를 보였으며, 1개월 후 각막수차는 술 전 수준으로 회복되었다. 수술 초기 이러한 양상의 수차변화의 원인은 각막두께의 측정결과 절개창부위의 각막부종으로 인한 것으로 사료된다.

(대한안과학회지 2009;50(4):518-522)

최근 백내장 수술은 인공수정체의 도수를 정확히 계산하고 수술로 인한 난시의 유발을 최소화하여 백내장 수술 후 굴절 이상의 정도를 최소화하고자 할 뿐만 아니라 수차를 가능한 낮추어 시력의 질을 중요시하는 방향으로 가고 있다.<sup>1,2</sup>

이에 따라 여러 가지 인공수정체의 개발과 수술결과에 대한 연구가 이루어지고 있으며,<sup>3</sup> 백내장 술 후 연구에서 수차연구 또한 중요한 부분으로 다루어지고 있다. 백내장 수술 후 안구수차를 변화시킬 수 있는 요인으로서는 크게 인공수정체의 성질과 수술절개창의 영향 두 가지를 들 수 있으며 Pesudovs et al<sup>4</sup>은 상부절개를 한 경우 몇 가지 수차가 증가하는 양상을 보인다고 보고하였다. 후자의 연구를 위해 전체 안구수차 중 각막수차의 측정은 중요하다고<sup>14</sup> 할 수 있는데 Guirao et al<sup>5</sup>은 백내장 수술은 각막의 optical quility를 변화시키며 특히 각막절개창은 술 후 각막의 optical power 및 수차를 변화시키는 중요한 역할을 한다고 보고하였다. 또한 Sicam et al<sup>6</sup>은 정확한 각막수차의 측정을 위하여 각막전면의 수차뿐만 아니라 후면의 수차측정이 필요하다고 주장하였다.

현재 개발되어 사용 중인 여러 수차측정기 중 Pentacam®

(Oculus, Wetzlar, Germany)은 360도로 회전하는 Scheimpflug 카메라를 이용하여 측정된 각막 전, 후면의 elevation map을 이용하여, 전체 안구수차 중에서 각막 전면과 후면의 수차를 구할 수 있다.<sup>15</sup>

이에 저자들은 백내장 수술절개창이 각막수차에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 백내장 수술 전후 각막수차의 변화를 Pentacam®을 이용하여 각막의 전면과 후면으로 나누어 알아보고자 하였다.

### 대상과 방법

본 연구는 2007년 11월부터 2008년 3월까지 한 술자에 의해 수정체유화술 및 후낭 인공수정체삽입술을 시행 받은 환자 중 1개월 이상 경과관찰이 가능하였던 30명 32안을 대상으로 하였으며, 환자의 평균연령은 64.5세였으며 남자는 13명, 여자는 17명이었다. 모든 환자는 2% Lidocaine을 사용하여 구후마취 및 Nadbath 마취를 시행한 후 3 mm 상측부 각공막절개를 하였으며 전방유지를 위해 1.4% sodium hyaluronate (Healon GV®: Pharmacia, Peapack, USA)를 사용하였고 원형전낭절개술은 26 gauge의 주사침으로 5.0~6.5 mm의 범위 내에서 시행하였다. 수정체유화술 및 관류흡입술은 Legacy™ (Alcon Surgical, USA)를 사용하여 시행하였으며 후낭 인공수정체는 Acrysof IQ® SN60WF (Alcon Laboratories, Fort worth, USA), Acrysof Natural® SN60AT (Alcon Laboratories, Fort worth, USA) 두 가지 종류를 환자에 따라 임의로 선택하여 각공막

■ 접 수 일: 2008년 8월 18일 ■ 심사통과일: 2008년 11월 24일

■ 통 신 저 자: 박 우 찬

부산시 서구 동대신동 3가 1번지

동아대학교의료원 안과

Tel: 051-240-5222, Fax: 051-254-1987

E-mail: wcpark@dau.ac.kr

\* 본 논문의 요지는 2008년 대한안과학회 제99회 춘계학술대회에서 구연으로 발표되었음.

**Table 1.** Postoperative changes of corneal aberration on the front side. This is the measurement of aberration based on average Zernike coefficient of the front cornea at the time of postoperative one week, one month and before surgery. (optic zone 6 mm)

	Preop		Postop 1 week		Postop 1 month	
	Zernike Coefficients (Mean)	Aberration	Zernike Coefficients (Mean)	Aberration	Zernike Coefficients (Mean)	Aberration
Z(2,2) Astigmatism	-0.161	-0.061	-0.084	-0.032	0.099	0.037
Z(2,0) Defocus	59.339	22.311	57.334	21.558	59.399	22.334
Z(2,-2) Astigmatism	0.17	0.064	0.529	0.199	0.095	0.036
Z(3,-3) Trefoil	0.054	0.020	0.017	0.006	-0.008*	-0.003*
Z(3,-1) Coma	-0.088	-0.033	-0.040	-0.015	-0.052	-0.020
Z(3, 1) Coma	-0.027	-0.010	-0.114	-0.043	-0.049	-0.018
Z(3, 3) Trefoil	-0.011	-0.004	-0.027	-0.010	0.004	0.002
Z(4,-4) Tetrafoil	-0.086	-0.032	0.025	0.009	-0.076	-0.029
Z(4,-2) Secondary astigmatism	0.092	0.035	0.020 <sup>†</sup>	0.008 <sup>†</sup>	0.009	0.003
Z(4, 0) Spherical aberration	0.678	0.255	0.678	0.255	0.737	0.277
Z(4, 2) Secondary astigmatism	-0.014	-0.005	-0.062	-0.023	-0.012	-0.005
Z(4, 4) Tetrafoil	-0.054	-0.020	-0.009	-0.003	0.024	0.009

\* $p=0.038$ ; <sup>†</sup> $p=0.044$ .

절개창을 통해 삽입하였다.

수차분석기는 Pentacam<sup>®</sup> (Oculus, Wetzlar, Germany)을 이용하였으며, 수차분석은 직경 6.0 mm의 각막을 대상으로 2차부터 4차까지의 Zernike polynomial을 분석하여 도출하였다. 나안시력, 최대교정시력, 세극등 현미경검사, 안압검사, 각막곡률검사와 수차분석을 술 전과 술 후 1주 1달에 걸쳐 시행하였으며, 각막수차는 각막의 전면과 후면으로 나누어 측정하였다. 통계학적 분석은 SPSS 11.5 for Windows (SPSS Inc. Chicago, IL)를 이용하였고 수술 전후의 상관관계를 알아보기 위해 Paired t-test를 시행하였으며, 통계학적 유의성은  $p<0.05$ 로 하였다.

## 결 과

총 대상은 30명 32안이었고 남자가 13명, 여자가 17명이었다. 환자의 평균연령은 64.5세였으며 술 후 안압 및 경면현미경상 내피세포의 수는 술 전과 비교하여 통계적으로 유의한 변화가 없었다( $p>0.05$ ). 각막전면의 수차분석결과 술 후 1주째 Z (4, -2), secondary astigmatism 및 술 후 1개월째 Z (3, -3), tetrafoil가 통계적으로 유의한 변화를 보였다( $p=0.038$ ,  $p=0.044$ ) (Table 1). 반면 각막후면의 수차분석결과 술 후 1주째 Z (2, -2), Z (2, 0), Z (2, 2), Z (3, 1), Z (4, -4), z (4, -2)가 술 전에 비해 통계적으로 유의한 변화를 보였으며( $p=0.024$ ,  $p=0.000$ ,  $p=0.029$ ,

$p=0.039$ ,  $p=0.020$ ,  $p=0.020$ ), 술 후 1개월째에는 유의한 변화를 보이지 않았다(Table 2). 각막의 전면보다 후면수차의 술 후 변화가 크고, 수차가 술 후 1주째 큰 변화를 보인다 1개월 후 술 전치의 수준으로 회복되는 양상의 원인을 알아보고자 Pentacam<sup>®</sup>을 이용하여 술 후 1주, 1개월에 각막중심부 및 절개창부위인 12시를 비롯하여 3시, 6시, 9시 방향의 각막두께를 알아보았다. 그 결과 절개창부근인 12시 방향의 각막두께가 술 전에 비하여 술 후 1주째에 통계적으로 유의하게 증가하였으며( $p=0.002$ ), 이러한 변화는 1개월 후 술 전의 수준으로 회복되는 양상을 보였다(Table 3). 그러나 다른 방향에서의 각막두께는 술 전과 술 후를 비교하여 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않았다.

## 고 찰

수차란 원거리의 한 점에서 나온 빛이 광학계에 의하여 상을 맺을 때, 이론상 평행광선은 광학계를 지난 다음 한 점에 맺혀야 하지만, 실제로는 한 점에 완전히 모이지 않고 흐려지거나 일그러져 보이는 현상을 말한다.

Artal et al<sup>7,8</sup>은 2001년 전체 안구수차의 구성은 각막전면의 수차와 internal optics의 수차로 구성된다고 하였으며 internal optics란 각막후면, 수정체, 유리체를 모두 포함하는 개념이라고 하였다. 그러나 internal optics는 세분화되지 못한 개념으로 당시에는 각막후면의 수차를 측정할 수

**Table 2.** Postoperative changes of corneal aberration on the rear side. This is the measurement of aberration based on average Zernike coefficient of the rear cornea at the time of Postoperative one week, one month and before surgery. (optic zone 6 mm)

	Preop		Postop 1 week		Postop 1 month	
	Zernike Coefficients (Mean)	Aberration	Zernike Coefficients	Aberration	Zernike Coefficients (Mean)	Aberration
Z(2, 2) Astigmatism	-0.184	0.007	-0.092*	0.004*	-0.052	0.002
Z(2, 0) Defocus	71.485	-2.859	69.389†	-2.776†	67.648	-2.706
Z(2, -2) Astigmatism	1.51	-0.060	1.561‡	-0.062‡	1.523	-0.061
Z(3, -3) Trefoil	0.044	-0.002	0.074	-0.003	0.089	-0.004
Z(3, -1) Coma	-0.178	0.007	-0.089	0.004	-0.096	0.004
Z(3, 1) Coma	-0.649	0.026	-0.633§	0.025§	-0.554	0.022
Z(3, 3) Trefoil	0.525	-0.021	0.557	-0.022	0.548	-0.022
Z(4, -4) Tetrafoil	0.085	-0.003	0.147 <sup>  </sup>	-0.006 <sup>  </sup>	0.148	-0.006
Z(4, -2) Secondary astigmatism	0.021	-0.001	0.036	-0.001	0.028	-0.001
Z(4, 0) Spherical aberration	0.604	-0.024	0.607	-0.024	0.591	-0.024
Z(4, 2) Secondary astigmatism	-0.321	0.013	-0.302 <sup>#</sup>	0.012 <sup>#</sup>	-0.255	0.010
Z(4, 4) Tetrafoil	-0.530	0.021	-0.542	0.022	0.553	-0.022

\* $p=0.024$ ; † $p=0.000$ ; ‡ $p=0.029$ ; § $p=0.039$ ; <sup>||</sup> $p=0.020$ ; <sup>#</sup> $p=0.020$ .

**Table 3.** Changes of corneal thickness measured by pachymeter mode of Pentacam® at 12, 3, 6, 9 o'clock position & center (optic zone 6 mm). Corneal thickness increased statistically significant at 12 o'clock near incisional site at postoperative one week compared with before surgery. However, changes were recovered at one month after surgery (\* $p=0.00002$ ).

	Preop	Postop 1week	Postop 1month
12 O'clock	636.11±42.98	726.20±92.89*	680.16±71.84
Center	553.29±41.27	584.08±67.38	575.16±53.54
3 O'clock	645.37±42.65	665.52±55.78	653.37±62.89
6 O'clock	631.57±52.98	652.44±73.34	646.42±51.66
9 O'clock	640.48±56.24	673.77±62.72	650.21±47.73

없었기 때문으로 생각된다. 백내장 수술 후 수차변화에 대한 연구를 살펴보면 Marcos et al<sup>9</sup>이 2가지 종류의 비구면 인공수정체를 삽입한 후 백내장 수술이 각막수차에 미치는 영향에 대해 연구하여 몇 가지 Zernike term, 즉 vertical astigmatism, trefoil, tetrafoil이 백내장 수술 후에 의미 있는 변화를 일으킨다고 하였으며, Elkady et al<sup>10</sup>은 소절개창 백내장 수술이 각막의 난시와 축의 변화를 야기할 수 있다고 발표하였다.

또한 Guirao et al<sup>5</sup>은 백내장 수술 전후의 각막수차 연구에서 소절개창 백내장 수술이 각막전면의 optical quality를 전체적으로 감소시키지는 않지만 astigmatism, coma, trefoil 등 몇 가지 수차의 변화를 야기하는 요인이라 발표하였으며 수술절개창은 이러한 수차의 변화에 영향을 주는 주요한 인자라고 발표하였다. 이렇게 각막수차에 대한 연구는 지속 되었으나 주로 각막전면의 수차가 연구에 이용되고 각막후면의 수차는 중요시 되지 않고 있던 가운데 Sicam et al<sup>6</sup>은

정확한 수차의 측정을 위해 기존의 각막전면만 보는 방식은 충분하지 않고 각막후면의 수차의 측정이 중요하다고 강조하였다.

한편 각막수차를 측정할 수 있는 장비로는 Topography와 Pentacam 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 우선 Placido ring을 이용하는 Topography는 Videokeratoscope으로 얻은 각막전면의 elevation map을 이용하여 Zernike polynomials에 따라 수차를 구할 수 있다. 이에 반해 Pentacam®은 360도로 회전하는 Scheimpflug 카메라를 이용하여 각막 전, 후면의 elevation map을 얻을 수 있어, 비침습적 방법으로 각막전면 뿐만 아니라 각막후면의 수차를 Zernike polynomials에 따라 구할 수 있으나,<sup>11,15</sup> 한편으로는 Pentacam®을 이용한 각막표면의 수차의 측정은 관찰자간, 관찰자내 오차가 높아 신뢰도가 낮다고 Shankar et al<sup>12</sup>이 보고한 바 있다.

이번 연구에서는 각막 전면과 후면의 수차를 각각 구할 수 있는 방법으로 Pentacam®을 이용하여 백내장 수술 전

후 각막수차의 변화를 알아보았다. Zernike polynomial mode에서 optic zone을 6.0 mm로 하고 각막 전 후면을 각각 선택하여 2차에서 4차까지의 Zernike coefficient를 구하고 이를 기반으로 수차를 계산하였다. 그 결과 백내장 수술 후 1주째에 각막 전면보다는 후면에서 통계적으로 의미 있는 수차의 변화를 보였으며( $p<0.05$ ), 수술 후 1개월 후에는 각막수차가 수술 전 수준으로 회복되었다.

수술초기 이러한 양상의 각막후면의 수차변화의 원인을 알아보기 위하여 각막두께의 측정에 있어 검사자간 재현성이 높다고 알려진<sup>13</sup> Pentacam® pachymeter mode를 이용하여 측정된 각막두께를 알아보았다. pachymeter mode의 결과를 관찰한 결과 절개창 부근인 12시 방향에서만 각막 두께가 수술 전에 비하여 수술 후 1주째에 통계적으로 유의하게 증가하였으며( $p=0.002$ ), 이러한 변화는 1개월 후 수술 전의 수준으로 회복되는 양상을 보였다(Table 3). 백내장 수술 후 각막내피세포의 손상 정도는 수술시기, 인공수정체의 종류, 수술 전후의 합병증 여부에 의해 달라질 수 있으며,<sup>16,17</sup> 수술 중의 여러 가지 조건, 즉 수정체 핵경화의 정도, 환자의 연령, 수정체유화술을 시행한 시간, 초음파의 고출력 정도 등이 영향을 미칠 수 있다.<sup>16,18</sup> 이번 연구에서 여러 가지 수술 후 각막부종의 요인들을 고려하여 부종의 정도를 판단할 수 있는 방법은 없었지만, 각막부종의 수술 전, 수술 후의 변화양상과 각막수차의 변화양상이 유사하게 진행된다는 사실에서 수술 후 1주째 각막후면의 수차의 변화가 크게 나타난 원인은 백내장 수술 절개창 부위의 각막부종으로 인한 것으로 생각된다.

결론적으로 각막 전후면의 수차를 Pentacam®으로 각각 측정하여 비교하였을 때 1주째 각막후면의 수차가 더 많은 변화를 보인 것으로 보아 3 mm 상측부 공막절개창을 통한 수정체유화술은 수술 후 1주째 각막후면에서 더 많은 변화를 일으키는 각막부종을 통하여, 후면의 각막수차에 영향을 미치는 주요한 인자라고 할 수 있으며, 이러한 변화는 수술 1개월 이후에는 크게 감소하여 각막수차에 큰 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다.

앞으로 Pentacam을 이용한 각막수차에 대한 연구는 각막수차 측정값의 정확도에 대한 연구를 포함하여 비구면 인공수정체 연구에 지속적으로 이용될 것으로 생각되며, 궁극적으로는 백내장 수술 이후 환자의 수차를 줄여 시력의 질을 향상시키는데 도움이 될 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- 1) Elkady B, Alió JL, Ortiz D, Montalbán R. Corneal aberrations after microincision cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2008;

- 34:40-5.
- 2) Marcos S, Rosales P, Llorente L, Jiménez-Alfaro I. Change in corneal aberrations after cataract surgery with 2 types of aspherical intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2007;33:217-26.
- 3) Kasper T, Bühren J, Kohnen T. Visual performance of aspherical and spherical intraocular lenses: intraindividual comparison of visual acuity, contrast sensitivity, and higher-order aberrations. J Cataract Refract Surg 2006;32:2022-9.
- 4) Pesudovs K, Dietze H, Stewart OG, et al. Effect of cataract surgery incision location and intraocular lens type on ocular aberrations. J Cataract Refract Surg 2005;31:725-34.
- 5) Guirao A, Tejedor J, Artal P. Corneal aberrations before and after small-incision cataract surgery. Invest Ophthalmol Vis Sci 2004; 45:4312-9.
- 6) Sicam VA, Dubbelman M, van der Heijde RG. Spherical aberration of the anterior and posterior surfaces of the human cornea. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 2006;23:544-9.
- 7) 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.
- 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.
- 9) Marcos S, Rosales P, Llorente L, Jiménez-Alfaro. Change in corneal aberrations after cataract surgery with 2 types of aspherical intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2007;33:217-26.
- 10) Elkady B, Alió JL, Ortiz D, Montalbán R. Corneal aberrations after microincision cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2008; 34:40-5.
- 11) Uçakhan OO, Ozkan M, Kanpolat A. Corneal thickness measurements in normal and keratoconic eyes: Pentacam comprehensive eye scanner versus noncontact specular microscopy and ultrasound pachymetry. J Cataract Refract Surg 2006;32:970-7.
- 12) Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, Pesudovs K. Repeatability of corneal first-surface wavefront aberrations measured with Pentacam corneal topography. J Cataract Refract Surg 2008;34:727-34.
- 13) Barkana Y, Gerber Y, Elbaz U, et al. Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system, optical low-coherence reflectometry pachymeter, and ultrasound pachymetry. J Cataract Refract Surg 2005;31:1729-35.
- 14) Iseli HP, Jankov M, Bueeler M, et al. Corneal and total wavefront aberrations in phakic and pseudophakic eyes after implantation of monofocal foldable intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2006;32:762-71.
- 15) Holladay J, Michelson M. The Pentacam: Precision, Confidence, Results and Accurate "Ks!" informational symposium presented at the 2006 AAO meeting in Las Vegas.
- 16) Mencucci R, Ponchietti C, Virgili G, et al. Corneal endothelial damage after cataract surgery: Microincision versus standard technique. J Cataract Refract Surg 2006;32:1351-4.
- 17) Dick HB, Kohnen T, Jacobi FK, Jacobi KW. Long-term endothelial cell loss following phacoemulsification through a temporal clear corneal incision. J Cataract Refract Surg 1996;22: 63-71.
- 18) Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 1996;22:1079-84.

=ABSTRACT=

## Changes of the Corneal Aberration Following Cataract Surgery

Hyun Cheol Oh, MD, Dong Jun Lee, MD, Woo Chan Park, MD

Department of Ophthalmology, Dong-A University College of Medicine Korea, Busan, Korea

**Purpose:** To assess the changes of corneal aberration in the front and rear surface measured by Pentacam<sup>®</sup> following cataract surgery.

**Methods:** Thirty-two eyes of 30 consecutive patients that underwent phacoemulsification and IOL insertion via 3 mm superotemporal corneoscleral incision were examined. The corneal aberration was measured with Pentacam<sup>®</sup> (Oculus, Wetzlar, Germany) at 1 week and 1 month after the surgery, and these postoperative values were compared with values taken before the operation. The data were analyzed from 6 mm pupil size, using Zernike's polynomial expansion.

**Results:** In anterior corneal aberration, Z (4, -2); secondary astigmatism at 1 week postoperatively and Z (3, -3); the trefoil at 1 month postoperatively changed significantly ( $p < 0.05$ ). By contrast, in posterior corneal aberration, Z (2, -2), Z (2, 0), Z (2, 2), Z (3, 1), Z (4, -4), and Z (4, -2) changed significantly ( $p < 0.05$ ). However, there were no significant changes at 1 month postoperatively (Paired t-test).

**Conclusions:** There were significant changes in posterior corneal aberration compared to anterior corneal aberration at 1 week postoperatively. However, the corneal aberration recovered to the preoperative level at one month after the operation. Presumably, these results might be due to the corneal edema of the incision site, caused by measuring the corneal thickness in the early phase of surgery.

J Korean Ophthalmol Soc 2009;50(4):518-522

**Key Words:** Corneal aberration, Pentacam, Phacoemulsification, Zernike polynomial

---

Address reprint requests to Woo Chan Park, MD

Department of Ophthalmology, Dong-A University College of Medicine,

#3-1 Dongdaesin-dong, Seo-gu, Busan 602-714, Korea

Tel: 82-51-240-5222, Fax: 82-51-254-1987, E-mail: wcpark@dau.ac.kr