

각막 지형도를 이용한 각막 구면수차의 산출

박종훈 · 김명준 · 김재용 · 차홍원

울산대학교 의과대학 서울아산병원 안과학교실

목적: 각막지형도 검사에서 제시해 주는 여러 가지 지표들을 이용해서 간단하게 각막 구면수차를 산출할 수 있는 공식을 유도해내고자 하였다.

대상과 방법: 백내장 수술을 계획한 76명, 76안을 대상으로 후향적으로 의무기록 검토를 통해 연구를 진행하였다. 평균 연령은 57.37 ± 17.63세였다. 각막 지형도 검사 Orbscan (Bausch & Lomb, Rochester, NY, USA)과 KR-1W (Topcon Corp, Tokyo, Japan) 두 가지 검사를 시행하였으며, 각막지형도 검사 지표들을 독립변수로, KR-1W의 6 mm 동공에서의 각막 구면수차를 종속변수로 설정하여 상관분석을 시행하였다. 상관분석 결과 유의하게 판정된 지표들을 이용하여 다중선형회귀분석을 시행하였다.

결과: KR-1W를 이용하여 측정된 대상 환자들의 평균 각막구면수차는 0.25 ± 0.08 μm 였다. 다중선형회귀분석 결과 유도된 공식은 $Q\text{-value}$ 를 포함할 경우에는 예측 각막구면수차 = $0.389 \times Q\text{-value} + (0.022 \times \text{Axial power } 3 \text{ mm}) - 0.633$ ($R^2=0.436$)였으며, $Q\text{-value}$ 를 포함하지 않을 경우 예측 각막 구면수차 = $0.184 \times (\text{Mean power } 5 \text{ mm} - \text{Mean power } 3 \text{ mm}) + (0.02 \times \text{Axial power } 3 \text{ mm}) - 0.563$ ($R^2=0.429$)였다. 유도된 공식을 활용하여 오차 범위 0.1 μm 내에서 약 93.4-94.7%를 예측할 수 있었다.

결론: 각막 구면수차 값을 제시하여 주는 별도의 수차례 없이 Orbscan만 갖춘 환경에서 본 공식을 활용하면 환자의 각막 구면 수차에 따라 적절한 비구면 인공수정체를 선택하는 데 도움을 받을 수 있을 것이다.

<대한안과학회지 2012;53(11):1559-1563>

과거에는 백내장 수술의 목표는 단순한 시력향상이었다. 그러나 최근에는 수차 분석 기술의 발달로, 안구 구면수차와 대비감도 등 시력의 질적인 측면과 연관성에 대해 더 많은 지식이 축적되었다.¹⁻⁵ 따라서 최근의 백내장 수술의 목표는 전체 안구의 수차를 줄여서 더 나은 기능적 시력을 얻는 것까지 확대되었다.

Beiko et al⁶은 6 mm optical zone에서 각막의 구면수차는 정규분포를 따르며, 평균 $+0.274 \pm 0.089 \mu\text{m}$ 임을 보고하였으며,⁶ 일본인 168명 257안을 대상으로 한 다른 연구에서는 6 mm 동공에서 각막 구면수차는 평균 $0.203 \pm 0.100 \mu\text{m}$ 임이 보고된 바 있다.⁷ 이러한 각막의 양의 구면수차를 보상하여 전체 안구의 구면수차를 조절하여 더 나은 기능적 시력을 얻고자 한 것이 비구면 인공수정체이다. 최근에는 0 ~ -0.27 μm 범위의 다양한 구면수차 값을 갖는 비구면 인공수정체가 출시되어 있어, 술자의 필요에 따라 선택

이 가능하다. 그러나 사람의 각막 구면수차 값은 상당히 큰 표준편차를 갖기 때문에, 어떤 한가지 비구면 인공수정체만을 사용해서는 만족스러운 결과를 얻을 수 없을 것이다. 따라서 수술 전에 환자의 각막 구면수차를 알 수 있다면 적절한 인공수정체 선택에 도움을 줄 수 있을 것이다. 실제로 술전 각막 구면수차를 고려한 custom IOL selection의 임상적 유용성을 뒷받침하는 많은 연구가 발표되었다.^{8,9}

현재 다양한 방식을 적용한 수차례들이 상용되고 있으며, 그중 몇몇은 각막 지형도 검사를 기반으로 전체 안구의 수차와 함께 각막의 수차를 따로 제시하여 주는 기종들도 있다. 그러나 현재 널리 쓰이고 있는 Orbscan (Bausch & Lomb Surgical, Rochester, USA)은 각막 구면수차를 따로 제공해 주지 않는다.

본 연구의 목적은 임상에서 널리 쓰이고 있는 Orbscan의 각막 지형도 검사 지표들을 활용하여, 간단하게 각막의 구면수차를 산출할 수 있는 공식을 유도하여 Orbscan만 갖춘 환경에서도 임상에서 인공수정체 선택에 도움을 받을 수 있도록 하는 것이다.

대상과 방법

본 연구는 후향적으로 의무기록 검토를 통하여 연구를 진행하였다. 대상 환자는 76명, 76안을 대상으로 하였으며,

■ 접수 일: 2012년 4월 13일 ■ 심사통과일: 2012년 6월 20일
■ 게재허가일: 2012년 10월 8일

■ 책임저자: 김 명 준

서울특별시 송파구 올림픽로 43길 88
서울아산병원 안과
Tel: 02-3010-3680, Fax: 02-470-6440
E-mail: joon@amc.seoul.kr

* 본 연구는 아산생명과학연구소의 연구비(2010-400) 지원에 의하여 이루어졌음.

평균 연령은 57.37 ± 17.63 세였으며, 여성이 44명 남성이 32명이었다. 동일한 환자의 양안에서 발생할 수 있는 연관성을 배제하기 위하여 연구 대상 환자의 양안 중 단안을 무작위로 선정하였으며, 대상 환자들은 Orbscan (Bausch & Lomb Surgical, Rochester, USA)과 KR-1W (Topcon Corp, Tokyo, Japan) 두 가지 검사를 모두 시행 받았다. 본 연구의 각막 구면수차는 KR-1W system을 이용하여 측정하였는데, KR-1W system은 Hartmann-Shack 파면수차계와 Placido-disk 각막지형도검사가 결합된 것으로 각막 수차와 전체안구 수차를 각각 표시하여 준다. 최근 1개월 안에 콘택트렌즈를 착용하였거나, 안과 수술력이 있는 환자는 연구에서 제외하였다.

Orbscan은 환자의 머리를 고정끈으로 고정한 후 정면을 주시 하도록 한 후 시행하였으며, 검사자는 모니터를 통해 환자의 정열 상태를 확인한 후 검사를 시행하였다. Orbscan의 각막 지형도 검사 지표들 중 3 mm, 5 mm, 7 mm zone에서의 optical power, axial power, anterior best fit sphere, posterior best fit sphere, sim K, keratometric power, 3 mm, 5 mm mean power를 분석에 활용하였다. 구면수차는 중심부와 주변부의 refractive power의 차이와 연관성이 높은 것을 고려하여, 3 mm, 5 mm, 7 mm zone의 optical power와 axial power 각각의 차와 3 mm, 5 mm zone의 mean power의 차를 통계 분석 대상에 포함하였으며, asphericity Q-value 역시 분석 대상에 포함하였다.

KR-1W는 6 mm 동공에서의 각막 구면 수차를 측정하였다.

통계 분석은 두 가지 단계로 시행하였는데, 우선 KR-1W로 측정한 각막 구면수차와 Orbscan의 각각의 지표들과의 상관 분석(correlation analysis)을 시행하였다. p -value 0.05를 기준으로 유의한 상관관계를 보이는 지표들을 선별하였다. 다음 단계로 상관분석에서 유의한 상관관계를 보인 Orbscan의 각막지형도 검사 지표들을 독립변수로, KR-1W를 이용하여 측정한 각막 구면수차를 종속변수로 설정하여 다중 선형 회귀 분석(multivariable linear regression)을 시행하였다. 다중 선형 회귀 분석은 유의수준을 10%로 설정하여 stepwise selection하였으며, 변수들 간의 다중공선성(multicollinearity)을 확인하기 위하여 각각의 변수들간의 상관성 분석을 시행하였다. 모든 통계분석에는 SPSS version 15.0 for Windows (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

결 과

KR-1W를 이용하여 측정한 대상 환자들의 평균 각막 구면수차는 $0.25 \mu\text{m}$ 였으며, 표준편차는 $0.08 \mu\text{m}$ 였다. KR-1W system으로 측정한 각막 구면수차와 Orbscan의 각각의 지표들과의 상관성 분석에 앞서서, 연령과의 상관 분석을 시행해 보았는데, correlation coefficient 0.019, p -value 0.868로 유의한 상관 관계를 보이지 않았다.

Table 1. Correlation analysis between corneal spherical aberration (from KR-1W) and topographic parameters (from Orbscan)

Orbscan parameters	Mean	Standard deviation	Correlation coefficient*	p -value
Optical power (3 mm)	43.21	1.66	0.18	0.119
Optical power (5 mm)	43.97	1.68	0.258	0.025*
Optical power (7 mm)	45.87	4.06	0.2	0.083
Optical power (5 mm)-Optical power (3 mm)	0.76	0.86	0.231	0.044*
Optical power (7 mm)-Optical power (5 mm)	1.9	3.81	0.02	0.865
Optical power (7 mm)-Optical power (3 mm)	2.66	4.05	0.115	0.321
Axial power (3 mm)	43	1.56	0.254	0.027*
Axial power (5 mm)	42.78	1.58	0.24	0.037*
Axial power (7 mm)	42.27	1.64	0.326	0.004*
Axial power (5 mm)-Axial power (3 mm)	-0.21	0.57	0.026	0.822
Axial power (7 mm)-Axial power (5 mm)	-0.51	0.6	0.265	0.021*
Axial power (7 mm)-Axial power (3 mm)	-0.73	0.8	0.155	0.181
Anterior BestFitSphere	43.29	1.33	0.348	0.002*
Posterior BestFitSphere	52.18	2.21	0.373	0.001*
Sim K	-0.88	0.63	0.099	0.393
Mean power (3 mm)	44.26	1.44	0.252	0.028*
Mean power (5 mm)	43.97	1.41	0.362	0.001*
Mean power (3 mm)-Mean power (5 mm)	0.29	0.27	-0.493	<0.001*
Keratometric power	44.49	1.5	0.213	0.065
Q-value	-0.13	0.13	0.517	<0.001*
Corneal spherical aberration by KR-1W (6 mm)	0.25	0.08		

* p -value < 0.05.

Table 1은 KR-1W를 이용하여 측정한 각막 구면수차와 Orbscan의 각각의 지표들과의 상관 분석을 시행한 결과이다. p -value 0.05를 기준으로 통계적으로 유의한 상관관계를 보인 각막 지형도 검사 지표들은 *표로 표시하였는데, optical power 5 mm, optical power 5 mm-optical power 3 mm, axial power 3, 5, 7 mm, axial power 7 mm-axial power 5 mm, anterior best fit sphere, posterior best fit sphere, mean power 3 mm, mean power 5 mm, mean power 3 mm-mean power 5 mm, Q -value가 통계적으로 유의한 상관관계를 나타냈다.

Table 2는 앞서 시행한 상관 분석에서 통계적으로 유의한 상관관계를 보인 지표들을 이용하여, 다중 선형 회귀 분석을 시행한 결과이다. 다중 선형 회귀 분석을 시행한 결과 유도된 공식은 다음과 같다.

6 mm 동공에서의 예측 각막 구면수차= $0.389 \times Q\text{-value} + (0.022 \times \text{Axial power 3 mm}) - 0.633$, adjusted $R^2=0.436$.

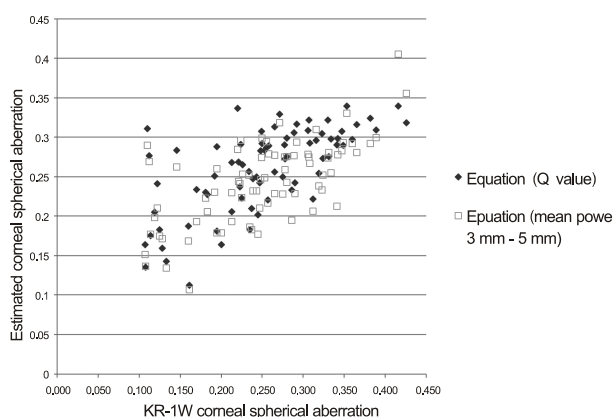


Figure 1. The scatter plot comparing the estimated corneal spherical aberrations with the corneal spherical aberrations measured by KR-1W.

Q -value는 임상에서 항상 측정하지 않는 경우가 많기 때문에 Q -value를 제외하고 다중 선형 회귀 분석을 시행하였을 때 유도된 공식은 다음과 같다(Table 3).

6 mm 동공에서의 예측 각막 구면수차= $0.184 \times (\text{Mean power 5 mm} - \text{Mean power 3 mm}) + (0.02 \times \text{Axial power 3 mm}) - 0.563$, adjusted $R^2=0.429$.

Mean power 3-5 mm와 Q -value는 앞서 시행한 상관 분석에서 p -value가 0.001 이하로 가장 높은 연관성을 보였으며, 변수들 상호간 연관성 분석을 하였을 때도 correlation coefficient 0.88로 연관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

Figure 1은 유도된 두 가지 공식으로 추정한 예측 각막 구면수차를 Y축, KR-1W로 측정한 각막 구면수차를 X축으로 산점도를 작성한 것이다. 두 가지 공식의 예측 값과 KR-1W의 측정값의 비례관계를 확인할 수 있다.

Q -value를 이용한 공식의 경우 오차범위 0.06 μm 내에서 80.3%를 예측할 수 있었으며, 오차범위 0.1 μm 내에서 약 93.4%를 예측할 수 있었다. mean power 5 mm-3 mm를 이용한 공식의 경우 오차범위 0.06 μm 내에서 약 68.4%를 예측할 수 있으며, 오차범위 0.1 μm 내에서 약 94.7%를 예측할 수 있었다.

고 찰

최근에는 다양한 수차계가 출시되어 임상에서 널리 쓰이고 있다. 그중 Pentacam (Oculus Inc., Germany), KR-1W (Topcon Corp, Tokyo, Japan), i-Trace (Tracey technology Inc., Houston, TX, USA) 등은 각막 지형도 검사를 기반으로 하여 전체 안구 수차와 각막 수차를 구분하여 제시하여 준다. 하지만 Orbscan (Bausch & Lomb Surgical,

Table 2. Multivariable linear regression: Q -value included

	Unstandardized Coefficients		95% CI		p -value	R^2	Adjusted R^2
	B	SE	Lower	Upper			
	-0.633	0.194	-1.020	-0.245	0.002	0.451	0.436
Q -value	0.389	0.054	0.280	0.497	<0.001		
Axial power 3 mm	0.022	0.005	0.013	0.031	<0.001		

CI = confidence interval.

Table 3. Multivariable linear regression: Q -value excluded

	Unstandardized Coefficients		95% CI		p -value	R^2	Adjusted R^2
	B	SE	Lower	Upper			
	-0.563	0.193	-0.948	-0.177	0.005	0.444	0.429
Mean power 3 mm-5 mm	-0.184	0.026	-0.236	-0.132	<0.001		
Axial power 3 mm	0.020	0.005	0.011	0.029	<0.001		

CI = confidence interval.

Rochester, USA)은 각막의 수차를 별도로 제시하여 주지 않는다. 이에 저자들은 Orbscan의 각막 지형도 검사 지표들을 활용하여 각막 구면수차를 유추할 수 있는 간단한 공식을 얻어보고자 하였다.

구면수차는 개념적으로 주변부와 중심부의 굴절력의 차이와 관련이 있기 때문에 각막 지형도 검사의 여러 가지 변수들과 각 변수들의 3 mm, 5 mm, 7 mm 측정값의 차, Q-value 등을 분석에 포함하였는데, 실제 상관 분석 결과 mean power 3-5 mm, Q-value가 가장 높은 연관성을 보였다(Table 1).

본 연구에서 얻은 두 가지 공식 6 mm 동공에서의 예측 각막 구면 수차 = $0.389 \times Q\text{-value} + (0.022 \times \text{Axial power } 3 \text{ mm}) - 0.633$ 과 6 mm 동공에서의 예측 각막 구면 수차 = $0.184 \times (\text{Mean power } 5 \text{ mm} - \text{Mean power } 3 \text{ mm}) + (0.02 \times \text{Axial power } 3 \text{ mm}) - 0.563$ 에서 예측 각막 구면수차 값에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 Q-value와 mean power 5 mm-3 mm임을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 얻은 두 가지 공식은 모두 이론적인 구면 수차의 특성이 잘 반영된 공식임을 알 수 있다.

Q-value는 Orbscan의 경우 여러 번 측정하여야 하는 번거로움이 있기 때문에 임상에서 항상 측정하지 않는 경우가 많다. 본 연구 결과 Q-value를 사용한 공식과 사용하지 않는 공식의 adjusted R² 값은 0.436과 0.429로 큰 차이가 없었다. 따라서 Q-value가 가용하다면 Q-value를 이용한 공식을 활용하면 되겠지만, Q-value가 가용하지 않은 경우에는 mean power 5 mm-3 mm를 이용하는 공식을 사용하여도 큰 차이는 없을 것이다.

연령과 안구의 수차의 관계에 대한 여러 연구가 있어왔다. Wang and Koch¹⁰는 75명의 정상인을 대상으로 한 연구에서 연령이 증가함에 따라 corneal coma가 증가하지만, 연령이 증가함에도 각막 구면수차는 변화가 없음을 보고하였다. Athaide et al¹¹은 연령이 증가함에 따라 전체 안구의 구면수차는 증가하지만, 각막 구면수차는 변화하지 않음을 보고하였다. 본 연구에서도 KR-1W system으로 측정한 각막 구면수차와 연령과의 상관 분석을 시행하였으나, correlation coefficient 0.019, p-value 0.868로 유의한 상관 관계를 보이지 않았다.

76명의 한국인을 대상으로 한 본 연구에서 6 mm 동공에서 각막 구면수차의 평균값은 $0.25 \pm 0.08 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 이는 Beiko et al⁶이 서양인을 대상으로 한 연구에서 보고한 $+0.274 \pm 0.089 \mu\text{m}$, 일본인을 대상으로 한 Shimozono et al⁷이 보고한 $0.203 \pm 0.100 \mu\text{m}$ 의 중간 정도의 값이었다. 한편 Lim et al¹²은 Pentacam (Oculus Inc., Germany)을 이용한 연구에서 한국인에서 각막 구면수차를 $+0.19 \pm$

$0.087 \mu\text{m}$ 로 다소 낮게 보고한 바 있으나, 이것은 5 mm 동공에서의 연구였던 점을 고려해야한다. 각막의 구면 수차는 인종에 또는 측정 수차계에 따라 어느 정도의 차이를 보이지만 공통적으로 0.08-0.10 정도의 표준편차를 확인할 수 있다. 최근에는 여러 종류의 비구면 인공수정체가 시판되고 있다. 한 가지 비구면 인공수정체를 이용하여 우수한 결과를 얻었다는 수많은 보고가 있지만, 이러한 각막 구면수차의 표준편차는 환자의 각막 구면수차를 고려하여 비구면 인공수정체를 선택하여야 함을 이론적으로 뒷받침하여준다.

회귀분석을 통해 얻어진 공식을 임상에 사용하는 대표적인 예로 SRK 공식 등 인공수정체 도수 측정 공식들을 들 수 있는데, 이렇게 회귀분석의 결과로 얻어진 공식들은 항상 오차가 존재한다. 본 연구에서 유도된 공식에도 물론 오차가 존재하는데 Q-value를 이용한 공식의 경우 오차범위 $0.06 \mu\text{m}$ 내에서 61안 80.3%를 예측할 수 있었으며, 오차범위 $0.1 \mu\text{m}$ 내에서 76안 중 71안, 약 93.4%를 예측할 수 있었다. mean power 5 mm-3 mm를 이용한 공식의 경우 오차범위 $0.06 \mu\text{m}$ 내에서 76안 중 52안, 약 68.4%를 예측할 수 있으며, 오차범위 $0.1 \mu\text{m}$ 내에서 76안 중 72안, 약 94.7%를 예측할 수 있었다. 각막 구면 수차 값을 제시하여 주는 별도의 수차계가 없이 Orbscan만 갖춘 환경에서도 본 공식을 활용하면 간단하게 환자의 각막 구면수차를 예측해 볼 수 있으며, 적절한 비구면 인공수정체를 선택하는 등 임상에 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) Trueb PR, Albach C, Montés-Micó R, Ferrer-Blasco T. Visual acuity and contrast sensitivity in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses. *Ophthalmology* 2009;116:890-5.
- 2) Pepose JS, Qazi MA, Edwards KH, et al. Comparison of contrast sensitivity, depth of field and ocular wavefront aberrations in eyes with an IOL with zero versus positive spherical aberration. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2009;247:965-73.
- 3) Kim HS, Kim SW, Ha BJ, et al. Ocular aberrations and contrast sensitivity in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses. *J Korean Ophthalmol Soc* 2008;49:1256-62.
- 4) Caporossi A, Martone G, Casprini F, Rapisarda L. Prospective randomized study of clinical performance of 3 aspheric and 2 spherical intraocular lenses in 250 eyes. *J Refract Surg* 2007;23:639-48.
- 5) Rocha KM, Soriano ES, Chalita MR, et al. Wavefront analysis and contrast sensitivity of aspheric and spherical intraocular lenses: a randomized prospective study. *Am J Ophthalmol* 2006;142:750-6.
- 6) Beiko GH, Haigis W, Steinmueller A. Distribution of corneal spherical aberration in a comprehensive ophthalmology practice and whether keratometry can predict aberration values. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:848-58.
- 7) Shimozono M, Uemura A, Hiram Y, et al. Corneal spherical aber-

- ration of eyes with cataract in a Japanese population. J Refract Surg 2010;26:457-9.
- 8) Chantra S, Pachimkul P, Nariythaphan P. Wavefront and ocular spherical aberration after implantation of different types of aspheric intraocular lenses based on corneal spherical aberration. J Med Assoc Thai 2011;94 Suppl 2:S71-5.
- 9) Packer M, Fine IH, Hoffman RS. Aspheric intraocular lens selection based on corneal wavefront. J Refract Surg 2009;25:12-20.
- 10) Wang L, Koch DD. Age-related changes in corneal and ocular higher-order aberrations. Am J Ophthalmol 2004;138:897; author reply 897.
- 11) Athaide HV, Campos M, Costa C. Study of ocular aberrations with age. Arq Bras Oftalmol 2009;72:617-21.
- 12) Lim TH, Lee JR, Choi KY, Cho BJ. Anterior and posterior corneal spherical aberration measured with pentacam in the Korean. J Korean Ophthalmol Soc 2010;51:816-21.

=ABSTRACT=

Estimation of Corneal Spherical Aberration from Topography

Jong Hoon Park, MD, Myoung Joon Kim, MD, Jae Yong Kim, MD, Hung Won Tchah, MD

Department of Ophthalmology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To formulate an equation to estimate corneal spherical aberration using Orbscan (Bausch & Lomb Surgical, Rochester, NY, USA) parameters.

Methods: The study was carried out retrospectively. The participants were 76 eyes of 76 senile cataract patients with the mean age of 57.37 ± 17.63 years. Both Orbscan and KR-1W (Topcon Corp, Tokyo, Japan) were taken as preoperative examinations. Correlation analysis between various parameters from Orbscan and corneal spherical aberrations for a 6 mm pupil by KR-1W was performed. And multivariable linear regression was performed with the significantly correlated Orbscan parameters from the correlation analysis.

Results: The mean corneal spherical aberration from KR-1W system was $0.25 \pm 0.08 \mu\text{m}$. As a result of the multivariable linear regression, we could generate following equations. If the Q-value was available, estimated corneal spherical aberration = $0.389 \times \text{Q-value} + (0.022 \times \text{Axial power 3 mm}) - 0.633$ ($R^2 = 0.436$). If the Q-value was not available, estimated corneal spherical aberration = $0.184 \times (\text{Mean power 5 mm} - \text{Mean power 3 mm}) + (0.02 \times \text{Axial power 3 mm}) - 0.563$ ($R^2 = 0.429$). By using the equations, 93.4-94.7% of subjects were in the error range of $0.10 \mu\text{m}$.

Conclusions: Even when equipped with Orbscan only, an appropriate aspheric intraocular lens can be selected using the estimated corneal aspherical aberration by the equations.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(11):1559-1563

Key Words: Corneal spherical aberration, KR-1W, Orbscan

Address reprint requests to **Myoung Joon Kim, MD**
Department of Ophthalmology, Asan Medical Center
#88 43-gil, Olympic-ro, Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea
Tel: 82-2-3010-3680, Fax: 82-2-470-6440, E-mail: joon@amc.seoul.kr