

웨이브프론트의 연속 측정방법으로 분석한 눈물막의 불안정성에 따른 고위수차 변화

최시환 · 신용일

충남대학교 의학전문대학원 안과학교실

목적: 눈물막의 불안정성에 따른 고위수차 변화를 KR-1W® 웨이브프론트 분석기로 10초간 연속으로 측정하고, 눈물막파괴시간, 쉬르머 검사 및 점상각막염과의 관계를 분석하고자 하였다.

대상과 방법: 환자 114명 228안을 대상으로 KR-1W® 웨이브프론트 분석기의 연속 측정방법을 이용하여 눈 깜박임 후 10초 동안 매초 고위수차를 측정하였다.

결과: 시간이 경과할수록 고위수차가 증가하는 양상이었고, 마지막 측정값인 눈 깜박임 후 10초에서 첫 측정값인 눈 깜박임 후 1초의 값을 뺀 수차의 변화량은 통계적으로 의미가 있었다($p=0.004$). 매초 사이의 변화량을 측정하였고, 눈 깜박임 후 9초와 10초 사이 변화량이 통계적으로 의미 있게 증가하였다($p=0.01$). 수차의 변화량은 눈물막 파괴시간이 6초 미만인 군에서 변화량이 가장 컸고 통계적으로 의미가 있었다($p=0.002$). 쉬르머검사에서 10 mm 초과인 군과 점상각막염이 있는 군이 수차의 변화량이 컸고 통계적으로 의미가 있었다($p=0.008$, $p=0.005$).

결론: 안구건조증 환자에서 시력의 질 저하의 원인 규명과 진단 및 다양한 치료방법의 평가에 웨이브프론트의 고위수차 분석이 유용하게 사용될 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2012;53(8):1076-1080〉

눈물막은 각막의 전면에서 형성되어 안구의 가장 앞쪽에 위치하게 된다. 따라서 굴절계수의 변화와 연관되어 있고, 눈물막의 두께 및 안정성에 따라서 안구 표면 광학수차의 변화를 일으키게 된다.¹ 매끄럽고 안정된 눈물막은 망막에 선명한 상을 맺히도록 해주는 중요한 인자이며, 여러 임상적 연구 결과에서 눈물막의 불안정성으로 인해 파괴된 눈물막이 망막에 맺히는 상의 질을 감소시킨다는 보고가 있다.²⁻⁶ 안구건조증 및 기타 각막질환은 눈물막의 불안정성에 의해 야기된 시기능의 감퇴로 시력의 질 저하를 유발한다. 눈깜박임 후 눈물막의 불안정성 증가와 연관되어 광학수차의 증가가 일어나고, 이는 상의 질을 감소시킨다.⁷ 눈물막의 불안정성을 검사하는 방법이자 이를 객관적으로 수치화할 수 있는 방법으로 웨이브프론트 분석기를 이용하여 눈 깜박임 후 시간 경과에 따른 고위수차의 변화를 측정하는 방법이 있다. Thibos and Hong,² Koh et al,⁴ Montés-Micó et al⁵

은 Hartmann-Shack aberrometer를 이용하여 고위수차를 측정한 결과 파괴된 눈물막에 유발된 광학수차가 망막에 맺히는 상의 질을 저하시킨다는 결론을 내렸다.

이에 저자들은 같은 Hartmann-Shack 방식의 aberrometer를 가진 KR-1W® 웨이브프론트 분석기(Topcon corp., Tokyo, Japan)의 새로운 측정방식인 수차를 10초간 연속으로 매초 측정할 수 있는 모드를 이용하여 눈 깜박임 후 10초간 시간에 따른 고위수차의 변화와 눈물막파괴시간, 쉬르머검사, 점상각막염을 통해 눈물막의 안정성에 따른 첫 측정값인 눈 깜박임 후 1초와 마지막 측정값인 눈 깜박임 후 10초 사이의 수차의 변화량 값을 측정하여 분석하고자 하였다.

대상과 방법

2010년 9월부터 10월까지 충남대학교병원 안과에 내원한 환자를 대상으로 검사하였다. 각막수술, 안구 내 수술력이 있거나, 각막반흔, 원추각막, 각막이영양증 등의 각막질환이 있는 경우, 눈물점마개를 시행하였거나, 눈물관의 막힘 등의 눈물관 이상이 있는 경우, 콘택트렌즈를 사용하고 있는 경우, 녹내장, 망막질환 등의 병력이 있는 사람은 제외하였고, 114명의 228안을 분석하였다. 모든 환자에게 웨이

■ 접수 일: 2011년 12월 31일 ■ 심사통과일: 2012년 1월 20일
■ 게재허가일: 2012년 5월 25일

■ 책임저자: 최 시 환

대전광역시 중구 문화로 282
충남대학교병원 안과
Tel: 042-280-7609, Fax: 042-255-3745
E-mail: shchoi@cnu.ac.kr

* 이 연구는 2011년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

브프론트 분석기를 이용하여 10초간 연속으로 고위수차를 측정하였으며, 안구건조증 증상의 문진, 눈물막파괴시간, 쉬르머검사, 점상각막염의 유무를 함께 조사하였다.

고위수차는 KR-1W[®] 웨이브프론트 분석기를 이용하여 측정하였다. 점안마취제를 사용하지 않고 눈 깜박임 직후부터 시작하여 뜬 상태로 10초간 매초 연속으로 측정하는 모드를 사용하여 검사하였다. 검사 중 눈을 깜박이는 경우에는 반사적 눈물분비로 인한 측정값의 오류를 줄이기 위해 눈물을 닦아내고, 5분이 지난 뒤 재측정하였다. 수차값은 제르니케 방식 6차까지 동공크기 4 mm를 기준으로 분석하였고, RMS (root mean square) 값으로 나타내었다. RMS 값이 클수록 광학적으로 불안정함을 의미한다.

안구건조증의 대표적 증상인 건조한 느낌, 이물감, 통증, 시야 흐림 유무에 대하여 문진을 시행하였다. 눈물막파괴시간 검사는 2% 플루오레세인 염색약을 결막낭에 반사눈물을 유발하지 않도록 점안한 후 2-3회 눈을 깜박이게 하여 고르게 염색약이 퍼지게 한 후 세극등 배율을 10배로 하고 코발트블루 광원을 사용하여 눈물층의 균열에 의한 마른 점이 처음 관찰될 때까지의 시간을 측정하였고, 3회 측정하여 평균을 내었다. 또한 점상각막염의 유무를 함께 검사하였다. 쉬르머검사는 점안마취 없이 검사용지를 아래 눈꺼풀 가장자리 1/3에 접촉하여 눈을 자연스럽게 감게 한 상태에서 5분 후 눈물로 염색된 부위의 길이를 mm단위로 측정하였다. 고위수차 측정, 눈물막파괴시간 검사 및 쉬르머검사는 한 명의 검사자에 의해 동일한 장소에서 측정을 시행하였다. 통계적 분석은 SPSS[®] (version 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였으며, paired *t*-test와 Wilcoxon signed rank test를 사용하여 비교하였다. 유의확률은 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 정의하였다.

결 과

대상자 총 114명 중에서 남자는 69명, 여자는 45명이었고, 평균나이는 32.3 ± 13.5 세이었다. 평균 눈물막 파괴시간은 6.5 ± 2.8 초, 쉬르머 검사상 눈물 분비는 평균 14.4 ± 6.0 mm, 점상각막염이 없는 군은 183안, 있는 군은 45안이었다. 안구건조증의 증상을 호소하는 사람은 40명이었

다. 그중 건조감이 18명으로 가장 많았고, 이물감, 통증, 시야 흐림은 각 4명씩, 두 가지 이상 증상을 호소하는 사람은 10명이었다(Table 1).

KR-1W[®] 웨이브프론트 분석기를 이용하여 눈 깜박임 직후 10초까지 매초 연속적으로 고위수차를 측정한 결과, 시간이 경과할수록 수차값이 증가하는 양상을 보였으나, 마지막 측정값인 눈 깜박임 후 10초에서 첫 측정값인 눈 깜박임 후 1초의 값을 뺀 고위수차의 변화량이 통계적으로 의미 있게 증가하였다($p=0.004$). 매초 사이의 변화량을 알아보기 위해 매초 사이의 증가량을 측정했으며 눈 깜박임 후 9초에서 10초로 넘어갈 때의 고위수차 평균값의 증가량이 0.184에서 0.196으로 통계적으로 의미 있게 증가하였다($p=0.01$) (Fig. 1).

눈물막파괴시간에 따라 6초 미만, 6-10초, 10초 초과인

Table 1. Demographics

Sex ratio (M/F)	1.6
Age (yr)	32.3 ± 13.5
Mean tear break-up time (sec)	6.5 ± 2.8
Schirmer test (mm)	14.4 ± 6.0
Presence of SPK (n)	45
Symptoms (n)	40
Dryness	18
Foreign body sense	4
Pain	4
Blurred vision	4
More than two symptoms	10

Values are presented as mean \pm SD or number unless otherwise indicated.

SPK = superficial punctate keratitis.

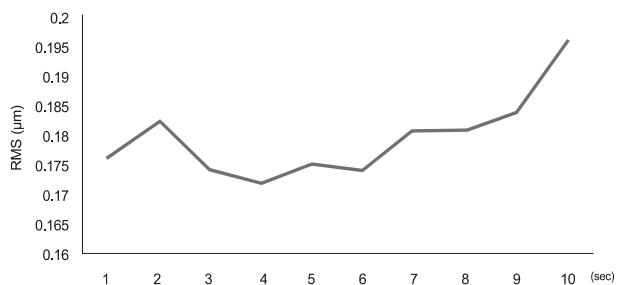


Figure 1. Changes in higher order aberration over time. RMS = root mean square.

Table 2. Mean values and changes in higher order aberration at 1 and 10 seconds in each group classified according to the BUT

	< 6 sec (n = 105)	6-10 sec (n = 97)	> 10 sec (n = 26)
HOA at 1 sec	0.179	0.189	0.116
HOA at 10 sec	0.206	0.206	0.118
Δ HOA (10 sec - 1 sec)	0.027	0.017	0.002
<i>p</i> -value (Δ HOA)	0.002	0.830	0.970

HOA = higher order aberration.

Table 3. Mean values and changes in higher order aberration at 1 and 10 seconds in each group classified according to the Schirmer test

	<6 mm (n = 11)	6-10 mm (n = 48)	> 10 mm (n = 169)
HOA at 1 sec	0.183	0.192	0.166
HOA at 10 sec	0.185	0.205	0.194
Δ HOA (10 sec - 1 sec)	0.002	0.013	0.028
p-value (Δ HOA)	0.859	0.633	0.008

HOA = higher order aberration.

Table 4. Mean values and changes in higher order aberration at 1 and 10 seconds in each group classified according to the presence of superficial punctate keratitis

	SPK (-) (n = 183)	SPK (+) (n = 45)
HOA at 1 sec	0.180	0.144
HOA at 10 sec	0.197	0.194
Δ HOA (10 sec - 1 sec)	0.017	0.050
p-value (Δ HOA)	0.123	0.005

SPK = superficial punctate keratitis; HOA = higher order aberration.

세 군으로 나누어 눈 깜박임 후 10초에서 1초의 값을 뺀 수차의 변화량을 측정하였고, 세 군 간 비교를 시행한 결과는 6초 미만인 군에서 0.027로 가장 큰 변화량을 보였고 통계적으로 의미가 있었다($p=0.002$) (Table 2).

쉬르머 검사 결과에 따라 6 mm 미만, 6-10 mm, 10 mm 초과인 세 군으로 나누어 눈 깜박임 후 10초에서 1초의 값을 뺀 수차의 변화량을 측정한 결과는 10 mm 초과인 군에서 0.028로 가장 큰 변화량을 보였고 통계적으로 의미가 있었다($p=0.008$) (Table 3).

점상각막염 유무에 따라 두 군으로 나누어 눈 깜박임 후 10초에서 1초의 값을 뺀 수차의 변화량을 측정하였고, 시행한 결과는 점상각막염이 있는 군에서 0.050으로 큰 변화량을 보였고 통계적으로 의미가 있었다($p=0.005$) (Table 4).

고 찰

눈물막은 각막상피보다 전면에 위치하여 광학수차를 결정하는 중요한 인자이다. 그러므로 눈물막이 안정적으로 각막 표면에 유지되어야 선명한 상을 유지할 수 있으며 눈물막이 깨지게 되면 불규칙한 각막 표면으로 고위수차의 변화를 일으켜 시력의 질을 저하시키게 된다.

눈이 이상적인 구조라면 사물의 형태가 각막과 수정체, 초자체를 통과하여 망막의 한 곳에 정확히 초점이 맺혀 선명하게 물체를 볼 수 있게 되지만, 실제로는 중심부에서는 어느 정도 정확한 상의 초점을 가질 수 있지만, 주변부에서는 빛의 굴절에 있어서 다소간의 오차가 생겨 망막에 정확히 초점을 맺지 못하는 수차현상이 있다. 보통 근시, 난시와 같은 기본적인 굴절이상에 영향을 주는 수차를 저위수차라고

하며, 구면수차나 불규칙 난시를 고위수차라고 하며 이는 야간 시력 및 대비감도, 선명도에 영향을 미친다.

KR-1W[®] 웨이브프론트 분석기는 이러한 고위수차를 측정할 수 있으며, 각막지형도, 동공크기 측정 및 각막의 곡률 및 굴절률을 동시에 측정할 수 있다. 이를 통해 시력의 질 (quality of vision)을 평가하고, 굴절수술이나 백내장 수술 시 수술 방법이나 환자의 선택 및 치료 후의 환자의 시력의 질을 평가하고 환자의 만족도를 높이는 데 유용하게 사용할 수 있다. 또한 각막이나 수정체 이상을 객관적으로 설명할 수 있게 되었다. 분석기에서 10초간 연속으로 고위수차를 측정하는 방식은 건성안의 연구와 눈물막 불안정성의 평가에 유용하게 사용될 수 있다.

Huang et al⁸은 안구건조증 환자에서 인공눈물을 점안하기 전, 후의 surface regularity index와 surface asymmetry index를 비교하였는데, 이 지표들은 각막의 안정성 및 대칭성을 양적으로 측정할 수 있고, 인공눈물을 점안한 후에 두 지표가 모두 감소하여 각막 면이 안정되는 결과를 보였다. Choi et al⁹는 안구건조증 환자와 정상인을 대상으로 인공눈물을 점안 후 눈물층의 변화를 비교하였는데 인공눈물 점안 후 안구건조증 환자군에서는 총 안구수차, 총 고위수차가 유의하게 감소하였다. 또한 LASIK을 시행하고 안구건조증이 관찰되었던 8명 16안에 대하여 Hartmann-Shack 방식의 수차계를 이용하여 눈물점막을 하기 전, 후의 광학수차를 비교한 연구에서는 시행 후 총 안구수차 및 고위수차가 47-63% 가량 감소하였고, 객관적 시력의 증진 및 주관적인 시력의 질 또한 향상되었다고 하였다.¹⁰ Montés-Micó et al⁵에 의하면 각막의 후방에 위치한 수정체 및 기타 매체에 의한 수차를 포함한 총 안구수차와, 각막 전면의 수차를 비교하였을 때, 눈을 깜빡인 직후 매끄러워진 눈물막에 의해 형성된 전면의 수차가 모든 안구의 수차를 상쇄할 만큼 역할이 크다고 보고하였다. Patel et al¹¹은 눈 깜박임과 눈물막의 안정성에 대하여 눈을 덜 깜박일수록 눈물막의 안정성이 떨어진다고 했고, 눈물막의 안정성이 떨어진다는 것은 수차값의 증가를 말한다.

본 연구에서 KR-1W[®] 웨이브프론트 분석기를 이용하여 연속으로 10초간 측정된 고위수차를 분석한 결과 시간 경과에 따라 눈물막이 불안정해질수록 고위수차 값이 점차

증가하였고, 이는 Montés-Micó et al⁵의 연구에서 눈물막이 정상인 건강한 눈의 경우에도 눈을 깜빡인 후 시간이 경과에 따라 눈물막이 불안정해질수록 점진적으로 광학수차가 증가한다고 보고한 것과 일치하는 결과였다. 눈물막파괴시간이 10초 이하인 군에서는 10초 초과인 군에 비해 높은 수차값과 변화량을 보였다. Montés-Micó et al¹²의 정상인을 분석한 다른 연구에서 정상적인 4초의 눈 깜박임 간격으로는 수차값이 안정적이었던 것에 비해 눈 깜박임 후 10초 이후에 수차값이 증가하며 망막에 맺히는 상의 질이 떨어진다는 보고가 있다. 본 장비의 측정방식으로 10초 이상 고위수차를 분석할 수 없는 점이 한계점이지만 10초 이후에는 더 급격한 수차값의 증가와 변화량이 있을 것이라 추측할 수 있다.

눈물막파괴시간은 안구건조증에서 가장 중요한 임상진단방법으로 간주하고 있고, 모든 형태의 건성안 증후군에서 감소하는 것으로 보고되었다.^{13,14} 고위수차의 1초에서 10초까지의 변화량은 눈물막파괴시간이 적을수록 증가하는 경향을 보였으며, 가장 눈물막이 불안정한 6초 미만인 군에서 가장 큰 값을 보였고, 이는 통계적 의미가 있었다. 이를 통해 눈물막이 불안정할수록 고위수차의 변화량이 커진다는 것을 알 수 있다.

쉬르메검사는 눈물량을 측정할 수 있다는 점에서 좋은 검사로서 본 연구에서 고위수차의 변화량은 눈물의 양이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 10 mm 초과인 군에서 가장 큰 값을 보였고, 통계적 의미가 있었다.

안구건조증 환자에서처럼 눈물의 양이 적거나 눈물구성 성분의 균형이 맞지 않으면 눈물막의 불안정성이 커지게 되고, 쉽게 눈물막이 깨지게 되어 자극감, 건조감, 이물감 등의 증상과 함께 시야의 흐려짐이 나타난다.¹⁵⁻¹⁷ 안구건조증을 진단과 분류에서 안구건조증 증상, 눈물막파괴시간, 쉬르메검사, 점상각막염의 중증도 등 여러 가지 인자가 활용되지만 실제 임상에서 간편하게 측정할 수 있고, 비교적 객관적이며 신뢰도가 높은 검사로는 눈물막파괴시간과 점상각막염의 정도를 평가하는 것이다. 점상각막염의 유무에 따라 비교한 결과 고위수차의 변화량은 점상각막염이 있는 군에서 더 큰 값을 보였고 통계적인 의의가 있었다. 점상각막염에 의한 각막전면의 불균형 및 눈물막 파괴의 불균형에 따라 고위수차의 변화량이 증가한 것으로 생각한다.

정상군에 속하는 환자이거나 안구건조증으로 의심되는 환자군에서 눈 깜박임 후의 고위수차 변화를 Hartmann-Shack 방식의 KR-1W[®] 웨이브프론트 분석기의 새로운 측정방법을 통해 측정할 수 있었고, 기존에 보고된 연속적으로 고위수차를 분석한 보고들과는 약간 다른 새로운 내장된 프로그램인 1초에 1회씩 10초간 연속적으로 고위수차를 측정

하는 모드를 활용하여, 보다 간편하고 쉽게 수차를 측정할 수 있었다. 또한 웨이브프론트 분석기를 이용한 고위수차 분석은 객관적인 방법으로 수치화하여 비교할 수 있다. 이러한 고위 수차의 분석을 통하여 안구건조증 환자에서 시력의 질 저하의 원인 규명에 도움을 줄 수 있으며, 안구건조증 환자의 진단 및 치료 평가에 증상의 감소 등에 의존하는 주관적인 방법과 더불어 객관적 방법으로 판단할 수 있고 이는 치료 효과의 판단에 앞으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) Albarrán C, Pons AM, Lorente A, et al. Influence of the tear film on optical quality of the eye. *Cont Lens Anterior Eye* 1997;20:129-35.
- 2) Thibos LN, Hong X. Clinical applications of the Shack-Hartmann aberrometer. *Optom Vis Sci* 1999;76:817-25.
- 3) Tutt R, Bradley A, Begley C, Thibos LN. Optical and visual impact of tear break-up in human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:4117-23.
- 4) Koh S, Maeda N, Kuroda T, et al. Effect of tear film break-up on higher-order aberrations measured with wavefront sensor. *Am J Ophthalmol* 2002;134:115-7.
- 5) Montés-Micó R, Alió JL, Muñoz G, et al. Postblink changes in total and corneal ocular aberrations. *Ophthalmology* 2004;111:758-67.
- 6) He JC, Gwiazda J, Thorn F, Held R. Wave-front aberrations in the anterior corneal surface and the whole eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2003;20:1155-63.
- 7) Hagó K, Csákány B, Lang Z, Németh J. Variability of higher order wavefront aberrations after blinks. *J Refract Surg* 2009;25:59-68.
- 8) Huang FC, Tseng SH, Shih MH, Chen FK. Effect of artificial tears on corneal surface regularity, contrast sensitivity, and glare disability in dry eyes. *Ophthalmology* 2002;109:1934-40.
- 9) Choi KW, Moon SW, Joo MJ. Wavefront aberration changes after the instillation of artificial tear in dry eyes. *J Korean Ophthalmol Soc* 2006;47:186-91.
- 10) Huang B, Mirza MA, Qazi MA, Pepose JS. The effect of punctal occlusion on wavefront aberrations in dry eye patients after laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 2004;137:52-61.
- 11) Patel S, Henderson R, Bradley L, et al. Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optom Vis Sci* 1991;68:888-92.
- 12) Montés-Micó R, Alió JL, Muñoz G, Charman WN. Temporal changes in optical quality of air-tear film interface at anterior cornea after blink. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:1752-7.
- 13) Begley CG, Caffery B, Chalmers RL, Mitchell GL; Dry Eye Investigation (DREI) Study Group. Use of the dry eye questionnaire to measure symptoms of ocular irritation in patients with aqueous tear deficient dry eye. *Cornea* 2002;21:664-70.
- 14) Hamano H, Hori M, Hamano T, et al. A new method for measuring tears. *CLAO J* 1983;9:281-9.
- 15) Liu Z, Pflugfelder SC. Corneal surface regularity and the effect of artificial tears in aqueous tear deficiency. *Ophthalmology* 1999;106:939-43.
- 16) Lin PY, Cheng CY, Hsu WM, et al. Association between symptoms and signs of dry eye among an elderly Chinese population in

Taiwan: The Shihpai Eye Study. Invest Ophthalmol Vis Sci 2005;46:1593-8.

17) Goto E, Yagi Y, Matsumoto Y, Tsubota K. Impaired functional visual acuity of dry eye patients. Am J Ophthalmol 2002;133:181-6.

=ABSTRACT=

Changes in Higher Order Aberration According to Tear-Film Instability Analyzed by Continuous Measurement Using Wavefront

Si Hwan Choi, MD, Yong Il Shin, MD

Department of Ophthalmology, Chungnam National University School of Medicine, Daejeon, Korea

Purpose: To evaluate the changes of higher order aberration according to tear-film instability measured serially by KR-1W wavefront every second for 10 seconds. The present study also analyzed the relationship between higher order aberration and the tear-film break-up time, Schirmer test, and superficial punctate keratitis.

Methods: The 228 eyes of 114 patients randomly selected from patients who visited hospital were measured once every second for 10 seconds after eye blinking by continuous measurement using wavefront.

Results: Higher order aberration increased overtime, and the higher order aberration value measured at the tenth second subtracted from the value of the first second was statistically significant ($p = 0.004$). In addition, the increment in higher order aberration between 9 seconds and 10 seconds was statistically significant ($p = 0.01$). The group of patients with a tear-film break-up time less than 6 seconds showed the greatest changes when measuring the higher order aberration difference value between the tenth and first seconds, which was statistically significant ($p = 0.002$). The group of patients where the Schirmer test results were longer than 10 millimeters and who had superficial punctate keratitis showed the greatest statistically significant changes when measuring the difference in higher order aberration values between the tenth and first seconds ($p = 0.008$, $p = 0.005$, respectively).

Conclusions: Analysis of higher order aberration by wavefront could be useful in cases of decreased optical quality, diagnosis and evaluation of treatment in dry eye syndrome.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(8):1076-1080

Key Words: Dry eye syndrome, Higher order aberration, KR-1W, Wavefront

Address reprint requests to **Si Hwan Choi, MD**
Department of Ophthalmology, Chungnam National University Hospital
#282 Munhwa-ro, Jung-gu, Daejeon 301-721, Korea
Tel: 82-42-280-7609, Fax: 82-42-255-3745, E-mail: shchoi@cnu.ac.kr