

고식적인 라섹과 웨이브프론트 방식을 이용한 라섹 전후의 고위수차의 변화 비교

이상목^{1,2} · 이민정^{1,2} · 김미금^{1,2} · 위원량^{1,2} · 이진학^{1,2}

서울대학교 의과대학 안과학교실¹, 서울대학교병원 임상의학연구소 인공안구센터²

목적 : 라섹수술 전후 고위수차의 변화에 웨이브프론트의 이용이 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

대상과 방법 : 단일 술자에 의해 VISX WaveScan과 Star S4를 이용하여 라섹 또는 웨이브프론트 라섹을 받은 221명 427안의 의무기록을 후향적으로 조사하여 두 군에서 술 전 평균 굴절력의 차가 1디옵터 이하, 술 전 총 고위수차 Root Mean Square 값의 차가 0.01 μm 이하로 맞는 29쌍(58안)의 자료를 찾아 술 전, 술 후 2개월째의 고위수차를 분석하였다.

결과 : 수술 전후 총 고위수차와 코마, 구면수차는 라섹군에서 $0.36 \pm 0.10 \mu\text{m}$ 에서 $0.49 \pm 0.16 \mu\text{m}$ 로($p = .001$), $0.21 \pm 0.09 \mu\text{m}$ 에서 $0.31 \pm 0.14 \mu\text{m}$ 로($p = .003$), $0.03 \pm 0.10 \mu\text{m}$ 에서 $0.10 \pm 0.20 \mu\text{m}$ 로($p = .043$) 의미 있게 증가하였으며, 웨이브프론트 라섹군에서도 $0.36 \pm 0.10 \mu\text{m}$ 에서 $0.46 \pm 0.14 \mu\text{m}$ 로($p = .004$), $0.18 \pm 0.10 \mu\text{m}$ 에서 $0.29 \pm 0.14 \mu\text{m}$ 로($p = .002$), $0.09 \pm 0.14 \mu\text{m}$ 에서 $0.19 \pm 0.14 \mu\text{m}$ 로($p = .006$) 의미 있게 증가하였다. 고위수차 값들의 변화치는 두 군 간에 유의한 차이가 없었다. 수술 전후 총 고위수차의 증가비는 술 전 총 고위수차 값과 강한 음의 상관관계가 있었고, 웨이브프론트 라섹군(상관계수 = -0.697, $p < .001$)에서 라섹군(상관계수 = -0.632, $p < .001$)보다 더 강한 음의 상관관계가 있었다.

결론 : 웨이브프론트 라섹 후 고위수차의 변화는 고식적 라섹과 비교하여 차이가 없었으나, 수술 전후의 고위수차 증가비의 경향을 분석하면, 웨이브프론트 방식을 이용한 라섹이 수술 전 고위수차가 높은 경우에 고위수차의 증가를 억제하는 효과가 더 클 가능성을 시사한다.

〈한안지 48(8):1028-1035, 2007〉

LASEK (laser-assisted subepithelial keratectomy)은 기존의 LASIK (laser in situ keratomileusis)과 PRK (photorefractive keratectomy)의 장점을 결합하여 위험대비 효과를 증진시킨 비교적 새로운 굴절교정수술방법이다. 희석한 알코올을 이용하여 각막 실질과 상피세포 사이의 결합을 느슨하게 하여 느슨해진 상피세포를 한 쪽으로 밀어내고 레이저로 절삭을 시행하는 방식으로, Azar에 의해 처음 시도된 후 Camellin에 의해 널리 소개되었다.¹

웨이브프론트(Wavefront) 기술은 약 50년 전부터 천문학 분야에서 항성들의 현미경적 관찰을 용이하게 하기 위하여 개발되었다.² 이러한 웨이브프론트 기술의

원리는 한 점에서 출발한 빛이 여러 방향으로 나가게 될 때 같은 위상에 해당하는 점들을 연결하면 가상면을 형성하게 되는데 이러한 면을 웨이브프론트라고 하고 이러한 복잡한 웨이브프론트를 수학적 다항식으로 분석한 것이다.³ 최근에는 이러한 웨이브프론트의 개념이 사람 눈의 수차를 교정하기 위해 도입되었다.⁴

근시와 근시성 난시에 대한 엑시머레이저 굴절교정수술은 고위수차(higher order aberrations, HOAs)의 증가를 초래하고 고위수차는 특히 어두운 조명하에서의 대비감도 저하로 인한 시력감소를 초래한다.⁵⁻⁸ 고위수차의 증가는 환자의 눈부심, 불빛 번짐, 야간시력 저하의 원인으로 생각되고 있다.⁹⁻¹² 이처럼 굴절교정수술에 의해 발생하는 고위수차를 줄이기 위한 노력으로써 웨이브프론트 기술이 널리 쓰이고 있지만 LASEK에서의 웨이브프론트의 효과에 대한 연구는 그리 많지 않다. LASEK을 시행 받은 눈은 술 후 상피의 치유과정에 의해 수술시 의도했던 고위수차의 감소를 위한 절제에 변화가 올 수 있다. Lee et al¹³은 51명의 환자에 대하여 한 쪽 눈에는 PRK를 반대편 눈에는 웨이브

〈접수일 : 2007년 3월 3일, 심사통과일 : 2007년 8월 6일〉

통신저자 : 김 미 금

서울시 종로구 연건동 28

서울대학교병원 안과

Tel: 02-2072-2665, Fax: 02-741-3187

E-mail: kmk9@snu.ac.kr

프론트 방식을 이용한 PRK를 시행하고 3개월 이상 추적관찰하여 분석했을 때 웨이브프론트 방식을 이용한 PRK를 시행받은 눈에서 코마수차와 세조각수차, 구면수차, 총 고위수차에서 통계학적으로 의미 있는 더 적은 수차의 증가폭을 보였음을 보고한 바 있다. LASEK은 상피절편을 유지하므로, PRK와 결과가 상이할 수 있으며 따라서, LASEK에서 웨이브프론트 방식을 이용한 경우와 이용하지 않은 경우의 수술 후 고위 수차의 차이를 비교 분석하고자 한다.

대상과 방법

2003년 8월에서 2006년 8월까지 본원 안과를 방문하여 단일 술자에 의해 LASEK 또는 웨이브프론트 LASEK을 받은 221명 427안을 대상으로 후향적으로 의무기록을 조사하였다. LASEK을 받은 군과 웨이브프론트 LASEK을 받은 군으로 나누어, 술 전 난시가 1.5 디옵터 이상인 경우, 수술 전 검사상 다른 안과적 수술의 과거력이 있는 경우, 근시퇴행 등으로 인해 재수술을 받은 경우는 본 논문의 연구대상에서 제외시켰다. 각 군에서 술 전 평균 굴절력의 차가 1디옵터 이하, 술 전 총 고위수차 Root Mean Square (RMS)값의 차이가 $0.01 \mu\text{m}$ 이하로 맞는 짝을 찾아 총 29쌍 58안에서 술 후 2개월째의 고위 수차의 변화를 분석하였다.

수술 전 검사로는 나안시력, 최대교정시력, 현성 굴절검사, 각막형태검사, 동공크기, 안구수차 검사를 시행하였고 안구수차는 Hartmann-Shack aberrometer (WaveScan Wavefront system, VISX Inc, USA)을 이용하여 산동하지 않은 상태에서 눈의 조절을 막기 위해 암실에서 각 안마다 4 mm의 동공에서 측정하였다. WaveScan으로 측정한 안구수차는 임상적 유용성을 고려하여 저니케다항식(Zernike polynomials)에서 동경차수가 3차인 코마수차(Coma, Z31) 및 세조각수차(Trefoil, Z33)와 4차인 구면수차(Spherical aberration, Z40)로 제한하였다. 총 고위수차(total HOAs)를 비교하는 데에는 RMS를 지표로 사용하였으며 개별 수차(코마수차, 세조각수차 및 구면수차)를 비교하는 데에는 산출된 저니케계수(Zernike coefficients, μm)를 지표로 이용하였다.

LASEK과 웨이브프론트 LASEK은 모두 단일 술자에 의해 시행되었으며 개검기로 안검을 벌린 후 0.5% proparacaine hydrochloride 0.5% 점안액(Alcaine[®], Alcon, USA)으로 점안마취를 시행하였다. 8 mm 직경의 trephine (K2-7810, Katena Products Inc, USA)으로 상피세포층에 자국을 낸 후 8.5 mm 직경의 well (K3-1820, Katena Products,

Inc, USA)을 각막 위에 놓고 증류수로 희석시킨 20% 알코올 용액을 well 안에 떨어뜨리고 30초간 기다린 후 평형염액(balanced salt solution)으로 충분히 세척하였다. 그 후 epithelial micro-hoe (K3-1840, Katena Products Inc, USA)를 이용하여 각막상피를 부드럽게 박리하였다. 광학부를 $6.40 \times 6.00 \text{ mm}$ 로 하여 193 nm의 파장, 176 mJ/cm^2 의 에너지, 10 Hz의 주기로 엑시머레이저(VISX Star S4, VISX Inc, USA)를 사용하여 절삭하였다. 절삭시 중심이탈을 방지하기 위해 모든 환자에서 안구 추적 장치(ActiveTrak, VISX Inc, USA)를 사용하였다. 각막절편과 각막기질을 평형염액으로 충분히 세척한 후 조심스럽게 원위치 시켰다. 치료용 콘택트렌즈를 덮은 후 수술을 끝냈으며, 수술 후 levofloxacin 항생제(Cravit[®], Santen Pharmaceutical co ltd, Japan), 0.1% fluorometholone acetate 점안제(Flarex[®], Alcon, USA), diclofenac sodium 1 mg/ml 점안제(디크란[®], 한림제약, 대한민국)를 하루 4회 7일간 점안하고, 술 후 7일부터 0.1% fluorometholone 점안제(오큐메돈, 삼일제약, 대한민국)를 2~6개월간 하루 2~4회 점안하였다.

술 후 나안시력, 최대교정시력, 현성 굴절검사, 각막형태검사, 안구수차 검사 결과는 술 후 2개월째에 시행한 검사결과를 이용하였다. 2개월 이후에는 안구수차 검사가 되어있지 않은 경우가 많아서 부득이하게 술 후 결과는 2개월째의 결과까지만 분석할 수 있었다.

고식적인 LASEK 수술만을 시행 받은 군을 LASEK군, 웨이브프론트 방식을 이용한 LASEK 수술을 시행 받은 군을 웨이브프론트 LASEK군으로 정의하였다. 수술 전후의 총고위수차의 증가비(Multiple of increase of HOAs)는 수술 후 2개월째의 총 고위수차의 RMS 값을 수술 전의 총 고위수차의 RMS 값으로 나눈 값의 절대값으로 정의하였다. 코마수차 값과 세조각수차 값, 구면수차 값에 대해서도 수술 전후의 증가비를 같은 방법으로 정의하였다.

술 전 및 술 후 시력, 술 전 동공크기, 술 전 및 술 후의 총 고위수차 RMS 값 및 각 고위수차 값의 두 군간 비교는 Independent samples T-Test를 이용하였고, 수술 전후의 비교는 Paired samples T-Test를 이용하였다. 수술 전후의 고위수차의 증가비에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위하여 중회귀분석을 이용하였다. 시력은 log MAR (minimal angle of resolution)을 이용하여 통계적 처리를 시행하였으며 결과는 알아보기 쉽도록 다시 소수점 식 시력으로 환산하여 표기하였다. 통계처리는 SPSS 12.0을 이용하였으며, p-value의 유의수준은 0.05미만으로 하였다.

결 과

술 전 동공크기, 술 전 평균 굴절력, 술 전 난시는 LASEK 수술군에서는 4.57 ± 0.52 mm, -4.16 ± 1.51 D, 0.46 ± 0.47 D였고 웨이브프론트 LASEK 수술군에서는 4.86 ± 0.59 mm, -4.04 ± 1.52 D, 0.64 ± 0.40 D으로 두 군 간에 유의한 차이는 없었다(Table 1).

LASEK 수술군의 술 전 평균 나안시력은 0.10에서 술 후 2개월째에 1.16으로 유의하게 향상되었고($p < .001$), 웨이브프론트 LASEK 수술군의 술 전 평균 나안시력은 0.08에서 술 후 2개월째에 1.14로 유의하게 향상되었다($p < .001$). 수술 전 후 시력에서 두 군

간의 유의한 차이는 없었다(Fig. 1).

LASEK 수술군에서의 술 전 평균 굴절력은 -4.16 ± 1.51 D (diopter) (-6.63 D \sim -1.00 D), 술 후 2개월째의 평균 굴절력은 -0.01 ± 0.31 D (-0.75 D \sim $+0.5$ D)로 유의하게 향상되었고($p < .001$), 웨이브프론트 LASEK 수술군의 술 전 평균 굴절력은 -4.04 ± 1.52 D (-6.51 D \sim -1.00 D), 술 후 2개월째의 평균 굴절력은 0.04 ± 0.28 D (-0.75 D \sim $+0.25$ D)로 유의하게 향상되었다($p < .001$). 수술 전 후 평균 굴절력에서 두 군 간의 유의한 차이는 없었다(Table 1).

술 전 및 술 후 2개월째의 총 고위수차와 코마수차, 세조각수차, 구면수차에서 두 군 간에 유의한 차이는 없었다. 술 전과 술 후 2개월째의 안구수차를 비교했을 때, 총고위수차는 LASEK군에서 0.36 ± 0.10 μ m에서 0.49 ± 0.16 μ m로($p = .001$), 웨이브프론트 LASEK군에서는 0.36 ± 0.10 μ m에서 0.46 ± 0.14 μ m로($p = .004$), 코마수차는 LASEK군에서는 0.21 ± 0.09 μ m에서 0.31 ± 0.14 μ m로($p = .003$), 웨이브프론트 LASEK군에서는 0.18 ± 0.10 μ m에서 0.29 ± 0.14 μ m로($p = .002$), 구면수차는 LASEK군에서는 0.03 ± 0.10 μ m에서 0.10 ± 0.20 μ m로($p = .043$), 웨이브프론트 LASEK군에서는 0.09 ± 0.14 μ m에서 0.19 ± 0.14 μ m로($p = .006$) 의미 있게 증가하였다. 세조각수차는 LASEK군에서 0.19 ± 0.09 μ m에서 0.17 ± 0.09 μ m로($p = .580$), 웨이브프론트 LASEK군에서는 0.18 ± 0.08 μ m에서 0.15 ± 0.11 μ m로($p = .345$) 의미 있는 차이가 없었다(Fig. 2).

LASEK군과 웨이브프론트 LASEK군에서의 수술 전후의 총고위수차의 변화와 코마수차의 변화, 세조각수차의 변화, 구면수차의 변화의 절대값에서 유의한 차이가 없었다(Fig. 3).

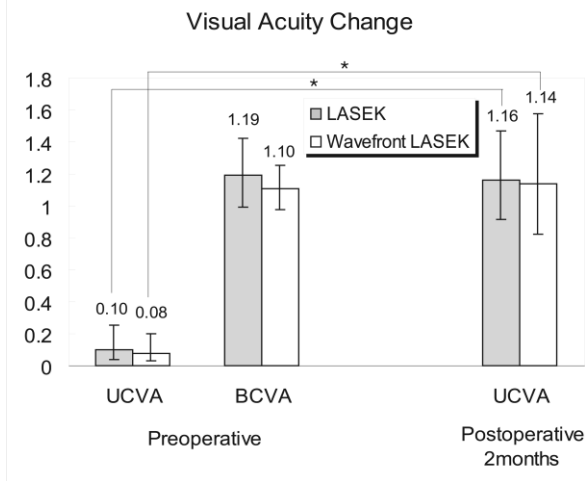


Figure 1. Visual acuity change preoperatively and 2 months postoperatively. The visual acuity was converted to decimal form after calculation of mean and standard deviation with Log MAR visual acuity.

* $p < 0.05$, Paired Samples T-test.

Table 1. Ocular parameters preoperatively and 2 months postoperatively

Parameters	LASEK group (n=29)	Wavefront LASEK group (n=29)	P Value*
Spherical Equivalent, D			
Preoperative	-4.16 ± 1.51	-4.04 ± 1.52	0.768
Postoperative 2 mo	-0.01 ± 0.31	-0.04 ± 0.28	0.696
Preoperative Astigmatism, D	0.46 ± 0.47	0.64 ± 0.40	0.131
UCVA, log MAR (decimal)			
Preoperative	1.00 (0.10) \pm 0.41	1.09 (0.08) \pm 0.39	0.406
Postoperative 2 mo	-0.06 (1.16) \pm 0.10	-0.06 (1.14) \pm 0.14	0.821
Preoperative BCVA, log MAR (decimal)	-0.08 (1.18) \pm 0.08	-0.06 (1.10) \pm 0.06	0.076
Scotopic Pupil size, mm	4.57 ± 0.52	4.86 ± 0.59	0.051

Data are presented as the mean \pm SD.

* Independent Samples T-test.

UCVA=uncorrected visual acuity.

log MAR=log (minimum angle of resolution).

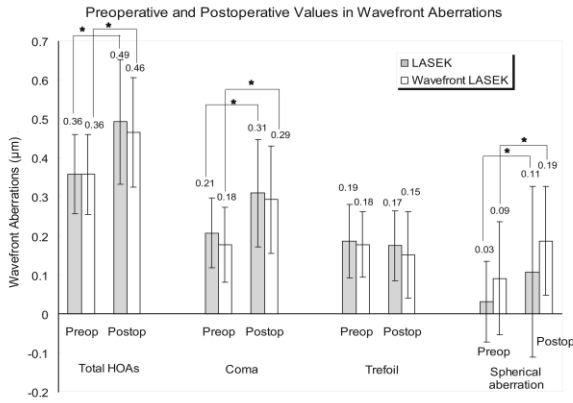


Figure 2. Wavefront aberrations acquired at 4 mm-sized pupil preoperatively and 2 months postoperatively. The values of total HOAs, coma, spherical aberration increased at postoperative 2 months compared with the preoperative values in the two groups, but the value of total HOAs, coma, trefoil, spherical aberration were not significantly different between the two groups preoperatively and 2 months postoperatively.

* $p < .05$, Paired Samples T-test.

HOAs = higher-order aberrations.

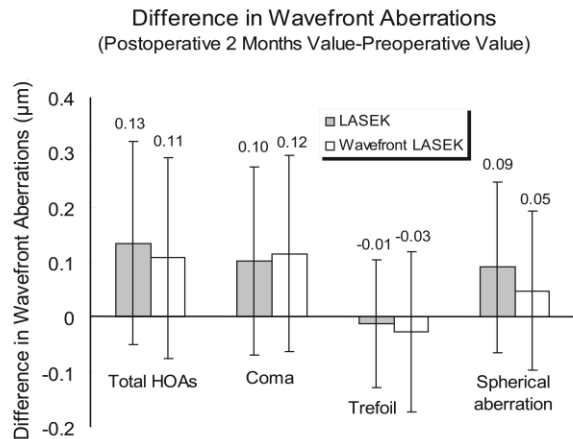


Figure 3. Difference in wavefront aberrations between preoperative value and postoperative 2 months value

* $p < .05$, Independent Samples T-test.

HOAs = higher-order aberrations.

두 군에서 수술 전후의 총고위수차의 증가비에 영향을 미치는 인자를 찾기 위해서 나이, 술 전 총 고위수차와 술 전 동공크기, 술 전 평균 굴절력, 술 전 난시의 변수에 대하여 중회귀분석을 시행하여 최적모델을 찾았다. LASEK군에서는 술 전 총 고위수차와 술 전 평균 굴절력, 술 전 동공크기가 의미 있는 요인으로 나온 반면에 웨이브프론트 LASEK군에서는 술 전 총 고위수차와 술 전 평균 굴절력이 의미 있는 요인으로 분석되

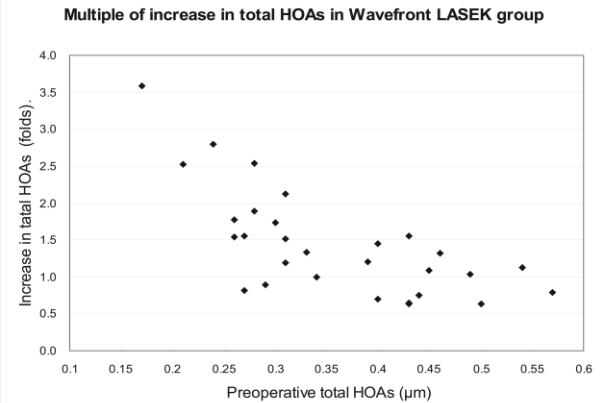
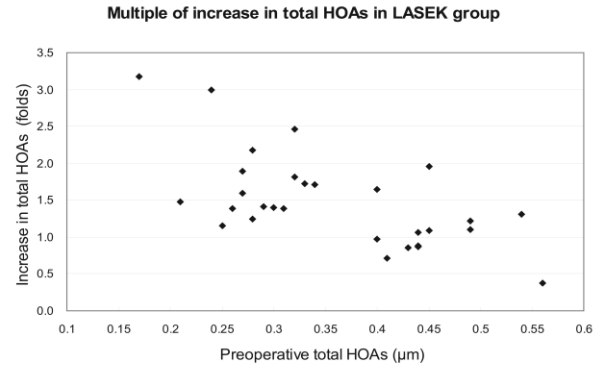


Figure 4. Multiple of increase in total higher-order aberrations against preoperative total higher-order aberrations in conventional LASEK group and wavefront-guided LASEK group.

HOAs: higher-order aberrations.

었다(Table 2). LASEK군에서의(수술 전후의 총 고위수차의 증가비) = $4.037 - 4.250 \times (\text{술 전 총 고위수차의 RMS 값}) + 0.172 \times (\text{술 전 평균 굴절력의 절대값}) - 0.381 \times (\text{술 전 동공크기})$ 의 식으로 나타나는데 이는 수술 전후의 고위수차의 증가비가 술 전 총 고위수차의 RMS값이 0.1 증가할 때마다 0.425씩 작아지고 술 전 평균 굴절력의 절대값이 1디옵터 커질 때마다 0.172만큼 증가하며 술 전 동공크기가 1 mm 커질 때마다 0.381씩 감소하는 직선적 관계를 의미한다(Fig. 4A). 웨이브프론트 LASEK군에서의(수술 전후의 총 고위수차의 증가비) = $2.763 - 5.418 \times (\text{술 전 총 고위수차의 RMS 값}) + 0.152 \times (\text{술 전 평균 굴절력의 절대값})$ 의 식으로 추정된다(Fig. 4B). LASEK군에서 모델의 설명력(R^2)은 0.544이고 웨이브프론트 LASEK군에서의 모델의 설명력은 0.550이다.

고 찰

웨이브프론트 고위수차는 수술 후 시력의 결과 관계

가 되고 특히 수술 후 불빛 번짐 등의 현상과 직접적인 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 굴절 교정수술 후에 고위수차는 증가하는 것으로 알려져 있으며 초기에는 웨이브프론트를 이용한 굴절교정수술이 이러한 고위수차를 없앨 수 있을 것으로 기대했으나, 초기의 기대와는 달리 수술로 인한 고위수차의 증가를 어느 정도 줄여줄 수 있는 것으로 인정되고 있다.^{6,13,14}

LASIK에서 웨이브프론트 방식을 이용한 경우와 이용하지 않은 경우를 비교한 논문이나 웨이브프론트 방식을 이용한 경우의 LASEK과 LASIK의 결과를 비교한 논문은 여러 편 찾을 수 있었으나 LASEK에서 웨이브프론트 방식의 효과를 직접적으로 비교한 논문은 찾을 수 없었다.¹⁵⁻²⁰

이번 연구에 사용한 WaveScan을 이용하여 LASEK 전후의 웨이브프론트 수차의 변화를 측정한 보고들을 살펴보았다. 웨이브프론트를 이용하지 않은 LASEK수술 후의 고위수차의 증가는 Seo et al²¹의 보고에 의하면 술 후 3개월째에 총 고위수차가 2.44배, 구면수차가 7.37배, 코마수차가 3.58배, 세조각수차가 1.42배 증가하였고 LASEK 수술은 아니지만 레이저 절삭의 위치가 비슷하여 고위수차에 미치는 영향이 비슷할 것으로 생각되는 PRK 후의 고위수차의 증가에 대해서는 Lee and Choi²²가 보고한 바 있는데, 술 후 6개월째에 총 고위수차가 1.83배, 구면수차가 3.41배, 코마수차가 1.85배, 세조각수차가 1.04배 증가하여 세조각수차를 제외하고는 모두 수술 후 의미 있게 증가한 소견을 보였다. 이번 연구에서도 LASEK군의 경우 총 고위수차가 1.38배, 구면수차가 3.48배, 코마수차가 1.50배, 세조각수차가 0.94배 증가하여 기존의 보고들과 비슷한 경향을 관찰할 수 있었다.

웨이브프론트 LASEK수술 후의 고위수차의 증가는 Oh et al²³에 의하면 술 후 3개월째에 총 고위수차가

1.26배, 구면수차가 3.67배, 코마수차가 1.4배, 세조각수차가 1.00배 증가하였고 Chung et al¹⁹에 의하면 술 후 1, 3, 6개월에 측정하였을 때 총 고위수차는 1.14배~1.21배, 구면수차는 3.00배~3.67배, 코마수차는 1.13배~1.19배, 세조각수차는 0.86배~1.00배 증가하였으며 Kim and Chung¹⁸에 의하면 술 후 6개월째에 총 고위수차가 1.32배, 구면수차가 6.00배, 코마수차가 1.31배, 세조각수차가 0.64배 증가하였다. 이번 연구에서는 웨이브프론트 LASEK군의 경우 술 후 2개월째에 총 고위수차가 1.30배, 구면수차가 2.06배, 코마수차가 1.65배, 세조각수차가 0.85배 증가하여 기존의 보고들과 비슷한 결과를 보였다. 다만 구면수차는 다른 보고에 비해서 좀 더 낮은 수치를 보이고, 코마수차의 경우 다른 보고에 비해서 좀 더 증가한 경향을 보이고 있다.

Oh et al²³의 보고에 의하면 웨이브프론트 LASEK 수술 이후에 술 후 1개월에 비하면 술 후 3개월째에 코마수차와 구면수차는 증가하는 경향을 보이지만 총 고위수차와 세조각수차는 변하지 않는 결과를 보여주고 있다. Chung et al¹⁹의 보고에 의하면 술 후 1개월, 3개월, 6개월 째에 측정했을 때 구면수차는 3개월까지 증가하는 경향을 보이는 반면 총 고위수차와 코마수차, 세조각수차는 거의 변하지 않는 결과를 보여주고 있다. Chung et al은 술 후 1개월째에 총고위수차가 급격히 증가하여 고원을 이루는 것이 웨이브프론트 LASIK과의 차이점이라고 지적하고 있다. 이와 같이 구면수차는 웨이브프론트 LASEK수술 이후 술 후 3개월까지는 증가하는 경향을 보이며 이번 연구에서 상대적으로 웨이브프론트 LASEK수술 군에서 구면수차의 증가가 적었던 것은 다른 연구들에 비해서 비교적 짧은 경과관찰 기간 때문일 것으로 생각된다.

이번 연구의 결과 중 또 한 가지 특이한 점은 환자의

Table 2. Results of multiple regression analyses in LASEK and Wavefront LASEK group. The dependent variable is multiple of increase in total higher-order aberrations

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
LASEK group	(Constant)	4.037	.758		5.325	.000		
	Preoperative HOAs	-4.250	.802	-.685	-5.298	.000	.975	1.026
	Preoperative spherical equivalents	.172	.056	.408	3.046	.005	.905	1.104
Wavefront LASEK group	Preoperative Pupil Size	-.381	.161	-.314	-2.367	.026	.928	1.078
	(Constant)	2.763	.371		7.438	.000		
	Preoperative HOAs	-5.418	.914	-.773	-5.926	.000	.943	1.060
	Preoperative spherical equivalents	.152	.062	-.321	2.461	.021	.943	1.060

Sig=significance; Std=standard; VIF=variance inflation factors; HOAs=higher-order aberrations.

수술 전후의 총 고위수차의 증가비가 술 전 총 고위수차 값과 강한 음의 상관관계를 갖는다는 점이다. 상관분석을 추가로 시행하였을 때 LASEK군에서는 Pearson 상관계수가 -0.632 ($p < .001$), 웨이브프론트 LASEK군에서는 Pearson 상관계수가 -0.697 ($p < .001$)로 분석되었다. Lee et al¹⁶에 의하여 웨이브프론트 방식을 이용한 LASIK 이후에도 이와 같은 결과가 보고된 바 있다. 이번 연구에서는 LASEK군과 웨이브프론트 LASEK군 모두에서 이와 같은 현상이 관찰되어 웨이브프론트의 영향으로 생기는 현상은 아닌 것으로 생각된다. 하지만, 술 전 총 고위수차 값이 0.1 증가할 때마다 수술 전후의 총 고위수차의 증가비가 LASEK군에서는 0.425 배 작아지고, 웨이브프론트 LASEK군에서는 0.541 배 작아지는 결과를 보여주고 있어 총 고위수차 값의 변화에 따른 고위수차 증가비의 민감도는 웨이브프론트 LASEK군에서 더 커서 술 전 총 고위수차가 더 클수록 웨이브프론트 LASEK이 고위수차의 증가를 억제하는 효과가 더 큰 것으로 해석할 수 있다.

이번 연구에서는 술 후 총 고위수차와 코마수차, 세조각수차, 구면수차 모두에서 두 군간에 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다. 비교적 고위수차 값들의 표준편차가 커서 통계적으로 유의한 차이가 나지는 않았으나, 구면수차의 경우 LASEK군에서는 수술 전후에 3.48 배 증가한 것에 비하여 웨이브프론트 LASEK군에서는 2.06 배 증가하여 구면수차의 경우 웨이브프론트 LASEK군에서 수차의 증가가 훨씬 적었음을 알 수 있다. 총 고위수차와 코마수차, 세조각수차의 경우 고위수차의 증가율이 두 군 간에 큰 차이는 없었다.

이번 연구의 경우 통계적으로 의미 있는 결과가 나오지는 않았는데, 이는 각 군별로 증례의 총 수가 상대적으로 작다는 점과 두 군에서 환자의 짝을 찾는 과정에서 웨이브프론트 LASEK 수술을 받았던 눈 중 술 전 총 고위수차의 값이 높은 경우(0.45 이상)의 상당수가 분석대상에서 제외되었다는 점이 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

굴절교정수술의 효과를 정확하게 판단하기 위해서는 환자의 두 눈에 서로 다른 시술을 시행하여 비교하는 것이 가장 좋은 방법으로 생각된다. 하지만 이러한 연구의 경우 환자들의 술 전 동의가 필수적이고 두 눈에 시행된 시술방법의 차이로 인해 두 눈의 차이가 발생하는 경우 윤리적으로 문제가 있어 연구를 진행하는 데에 어려움으로 작용하게 된다. 이번 연구에서는 환자들의 데이터를 후향적으로 분석하면서도 술 전 평균 굴절력과 고위수차가 맞는 짝을 찾아서 두 군을 비교하는 방식으로 환자의 술 전 조건을 비슷하게 만들려는 노력을 했다. 앞으로 점점 임상연구에 대한 윤리적인 기준이

강화되어가고 있는 현실에서 이와 같은 분석 방법이 향후 효과적인 분석 모델로 고려될 수 있을 것이다.

이번 연구의 단점이라면 비교적 작은 증례 수와 짧은 경과관찰 기간 그리고 주관적인 자각증상과의 비교가 부족하다는 점에 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 이 논문은 LASEK에 대해서 고식적인 방법과 웨이브프론트 방식을 이용한 군간의 직접적인 비교를 시도한 최초의 논문이라는 점과 수술 후의 경과에 영향을 미칠 수 있는 술 전 조건을 같게 하여 짝을 찾아서 비교하는 방식을 시도했다는 점, 술 전 고위수차와 수술 전후의 총 고위수차의 증가비가 역의 상관관계를 가짐을 보여주었고 수술 전후의 총 고위수차의 증가비를 예측하는 선형회귀 분석 모델을 찾았다는 점에서 의미가 있다고 하겠다.

참고문헌

- 1) Taneri S, Zieske JD, Azar DT. Evolution, techniques, clinical outcomes, and pathophysiology of LASEK: review of the literature. *Surv Ophthalmol* 2004;49:576-602.
- 2) Netto MV, Dupps W Jr, Wilson SE. Wavefront-guided ablation: evidence for efficacy compared to traditional ablation. *Am J Ophthalmol* 2006;141:360-8.
- 3) Thibos LN. Principles of Hartmann-Shack aberrometry. *J Refract Surg* 2000;16:S563-5.
- 4) Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille J. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use a Hartmann Shack wavefront sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 1994;11:1949-57.
- 5) McDonald MB. Summit-Autonomous Custom Cornea laser in situ keratomileusis outcomes. *J Refract Surg* 2000;16:S617-8.
- 6) Panagopoulou SI, Pallikaris IG. Wavefront customized ablations with the WASCA Asclepiion workstation. *J Refract Surg* 2001;17:S608-12.
- 7) Kanjani N, Jacob S, Agarwal S, et al. Wavefront- and topography-guided ablation in myopic eyes using Zyoptix. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:398-402.
- 8) Oh JR, Kim JS, Lee DH. The change of ocular aberration after LASIK Surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2003;44:278-83.
- 9) Chalita MR, Chavala S, Xu M, Krueger RR. Wavefront analysis in post-LASIK eyes and its correlation with visual symptoms, refraction, and topography. *Ophthalmology* 2004;111:447-53.
- 10) Yamane N, Miyata K, Samejima T, et al. Ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after conventional laser in situ keratomileusis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:3986-90.
- 11) Seiler T, Kaemmerer M, Mierdel P, Krinke HE. Ocular optical aberrations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism. *Arch Ophthalmol* 2000;118:17-21.
- 12) Kim TW, Wee WR, Lee JH, Kim MK. The changes of

- contrast sensitivity and glare in laser keratomileusis and laser epithelial keratomileusis with VISX S4. J Cataract Refract Surg 2007;23:355-61.
- 13) Lee SW, Choi TH, Lee HB. Comparison of wavefront guided ablation vs. conventional ablation. J Korean Ophthalmol Soc 2003;44:2607-14.
- 14) Kim TI, Yang SJ, Tchah H. Bilateral comparison of wavefront-guided versus conventional laser in situ keratomileusis with Bausch and Lomb Zyoptix. J Refract Surg 2004;20:432-8.
- 15) Cho SH, Kim HJ, Kim MJ, Joo CK. Clinical outcomes of wavefront-guided LASIK: 6-months follow-up. J Korean Ophthalmol Soc 2005;46:610-5.
- 16) Lee YH, Kim GH, Roh GH. Comparison of conventional versus wavefront-guided LASIK. J Korean Ophthalmol Soc 2005;46:2050-8.
- 17) Kim MJ, Kim HJ, Joo CK. Clinical outcomes of wavefront-guided LASIK using the Fourier algorithm: 6-months follow-up. J Korean Ophthalmol Soc 2006;47:806-11.
- 18) Kim YT, Chung ES. Clinical result of wavefront-guided corneal ablation: LASIK vs. LASEK. J Korean Ophthalmol Soc 2005;46:1114-20.
- 19) Chung SH, Lee IS, Lee YG, et al. Comparison of higher-order aberrations after wavefront-guided laser in situ keratomileusis and laser-assisted subepithelial keratectomy. J Cataract Refract Surg 2006;32:779-84.
- 20) Buzzonetti L, Iarossi G, Valente P, et al. Comparison of wavefront aberration changes in the anterior corneal surface after laser-assisted subepithelial keratectomy and laser in situ keratomileusis: preliminary study. J Cataract Refract Surg 2004;30:1929-33.
- 21) Seo KY, Lee JB, Kang JJ, et al. Comparison of higher-order aberrations after LASEK with a 6.0 mm ablation zone and a 6.5 mm ablation zone with blend zone. J Cataract Refract Surg 2004;30:653-7.
- 22) Lee SB, Choi BH. Analysis of higher-order wavefront aberrations in standard PRK. J Korean Ophthalmol Soc 2005;46:1454-63.
- 23) Oh SJ, Lee IS, Lee YG, et al. Comparison of higher-order aberrations (HOAs) between wavefront-guided laser in situ keratomileusis and laser epithelial keratomileusis. J Korean Ophthalmol Soc 2004;45:1652-8.

=ABSTRACT=

Comparison of Changes in Higher-order Aberrations between Conventional and Wavefront-guided LASEK

Sang Mok Lee, M.D.^{1,2}, Min Joung Lee, M.D.^{1,2}, Mee Kum Kim, M.D.^{1,2},
Won Ryang Wee, M.D.^{1,2}, Jin Hak Lee, M.D.^{1,2}

Department of Ophthalmology, College of Medicine, Seoul National University¹, Seoul, Korea
Artificial Eye Center of Clinical Research Institute, Seoul National University Hospital², Seoul, Korea

Purpose: To evaluate the postoperative higher-order aberrations (HOAs) and factors affecting postoperative changes in HOAs in eyes that underwent wavefront-guided LASEK (laser-assisted subepithelial keratectomy), compared with the eyes that underwent conventional LASEK.

Methods: We reviewed the medical records of 221 patients who had undergone LASEK or wavefront guided LASEK with VISX WaveScan and VISX Star S4 excimer laser by a single surgeon (427 total eye operations). We matched 29 eyes of the LASEK and the wavefront LASEK groups (58 eyes total) according to the guideline: preoperative refractive power differences must be within 1 diopter and preoperative root-mean-square (RMS) of total HOAs differences must be within 0.01 μm . Preoperative wavefront aberrations and two-months postoperative wavefront aberrations and associated factors were compared and analyzed.

Results: Postoperative total HOAs, comas, and spherical aberrations increased significantly from $0.36 \pm 0.10 \mu\text{m}$ to $0.49 \pm 0.16 \mu\text{m}$ ($p=.001$), $0.21 \pm 0.09 \mu\text{m}$ to $0.31 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ($p=.003$), and $0.03 \pm 0.10 \mu\text{m}$ to $0.10 \pm 0.20 \mu\text{m}$ ($p=.043$), respectively, in the conventional LASEK group. In the wavefront LASEK group, postoperative HOAs, comas, and spherical aberrations significantly increased from $0.36 \pm 0.10 \mu\text{m}$ to $0.46 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ($p=.004$), $0.18 \pm 0.10 \mu\text{m}$ to $0.29 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ($p=.002$), and $0.09 \pm 0.14 \mu\text{m}$ to $0.19 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ($p=.006$), respectively. There were no significant differences in HOAs between the two groups. A strong negative correlation between preoperative total HOAs and a multiple of increase in total HOAs postoperatively was found, with the negative correlation being stronger in the wavefront-guided LASEK group (Pearson's correlation coefficient $=-0.697$, $p<.001$) than in the LASEK group (Pearson's correlation coefficient $=-0.632$, $p<.001$).

Conclusions: There were no significant decreases in HOAs in the eyes that underwent wavefront-guided LASEK compared with the matched control eyes of patients that underwent conventional LASEK. Analyzing the tendency of a multiple of increase in total HOAs according to the preoperative HOAs, it suggests that the wavefront-guided LASEK may be more effective in suppressing an increase in total HOAs in the eyes with higher preoperative HOAs.

J Korean Ophthalmol Soc 48(8):1028-1035, 2007

Key Words: Case control study, Higher order aberrations, LASEK, Postoperative change, Wavefront

Address Reprint requests to **Mee Kum Kim, M.D.**

Department of Ophthalmology, Seoul National University, College of Medicine

#28 Yongon-dong, Chongno-gu, Seoul 110-744, Korea

Tel: 82-2-2072-2665, Fax: 82-2-741-3187, E-mail: kmk9@snu.ac.kr