

눈추적장치를 이용한 고등각막표면굴절교정레이저절제술에서 수술자 지정 연마중심의 정확도

이상범 · 조명진

영남대학교 의과대학 안과학교실

목적 : 눈추적장치를 이용한 ASA-PRK에서 수술자가 직접 지정하는 연마중심의 정확도와 그에 영향을 미치는 인자에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법 : 눈추적장치를 이용한 ASA-PRK (VISX STARTM S4 with ActiveTrakTM System)를 시행한 62명 109안을 대상으로 각막형태검사(EyeSys Corneal Analysis SystemTM with pupil finding software)를 이용해 수술자 지정 연마중심과 동공중심간의 거리와 그 분포를 알아보고, 중심이탈 정도에 영향을 미치는 인자를 분석하였다.

결과 : 평균 중심이탈은 0.24 ± 0.13 mm이었고(범위 0.04~0.83 mm), 0.5 mm 이내의 중심이탈을 보인 경우는 105안(96%)으로 우수한 중심잡기 성적을 나타내었다. 중심이탈의 분포는 상비축이 44안(40%)으로 가장 많았다. 중심이탈의 정도는 환자, 수술자 및 수술 연관인자별로 통계적 유의성이 없었다. 눈추적장치 결정 동공중심으로부터 수술자 지정 연마중심까지의 거리를 나타내는 수직척도값과 실제 연마중심이탈 정도와는 통계적 유의한 상관관계가 없었다.

결론 : ASA-PRK에서 동공편위를 보정하여 수술자가 직접 연마중심을 지정하면서 눈추적장치를 이용하는 중심잡기 방식은 술 후 우수한 연마중심 성적을 나타내었으며, 심각한 중심이탈을 방지하는데 효과적인 것으로 생각된다.

〈한안지 48(9):1177-1188, 2007〉

굴절교정레이저각막절제술(Excimer laser photorefractive keratectomy: PRK)은 많은 연구와 장기간의 경과관찰을 통해 경중등도의 근시에 매우 안전하고 우수한 수술 효과를 보이는 것으로 확인되었다.¹⁻⁴ 그러나 기존의 PRK는 각막상피를 제거하는 술기의 특성상 술 후 통증, 상피재생 지연, 각막 혼탁 및 근시 퇴행 등의 문제점이 있었다. 최근에는 상피제거회전술, 차가운 평형염색 세척, 안대렌즈의 이용, 레이저빔 조사방식의 개선 및 발전된 눈추적장치를 이용하여 과거보다 수술성적 및 환자 만족도를 증가시켰으며,⁵⁻⁷ 이를 기존의 PRK 수술과 구별해 사용하고자 '고등각막표면굴절교정레이저절제술'(Advanced Surface Ablation-

Photorefractive Keratectomy, ASA-PRK)이라고 명명하였다.⁸

각막굴절수술에 있어서 각막절제의 중심이 시축에서 벗어날수록 수술 후 눈부심, 부정난시, 최대교정시력의 감소, 대비감도의 감소, 달무리 및 단안 복시 등의 부작용이 있을 수 있어 정확한 중심잡기는 그 수술 성적을 좌우하는 가장 중요한 단계 중의 하나이다.⁹⁻¹³ PRK 수술의 초창기에는 정확한 중심잡기에 대한 많은 연구가 있었으나,¹⁴⁻¹⁷ 눈추적장치가 개발되고 보편화되면서 이에 대한 관심이 적어졌다. 하지만 최근 근시, 난시뿐만 아니라 환자 개개인의 파면고위수차까지 교정하는 맞춤형 각막굴절교정술이 대두되면서, 각막의 특정 부위에 파면고위수차에 해당하는 양만큼의 정확한 레이저 조사가 요구됨에 따라 정확한 중심잡기에 대한 중요성이 새롭게 강조되고 있다.

본원의 눈추적장치를 이용한 ASA-PRK에서, 눈추적장치의 자동화된 프로그램에 의해 결정되는 동공중심(눈추적장치 결정 동공중심, Tracking system determined pupil center, TPC)을 연마중심으로 이용하지 않고, 수술자가 각 환자의 동공 편위를 고려하여 직접 연마중심을 지정(수술자 지정 연마중심, Surgeon-selected ablation center, SAC)하는

〈접수일 : 2007년 2월 27일, 심사통과일 : 2007년 6월 20일〉

통신저자 : 이 상 범
대구시 남구 대명동 317-1
영남대학교병원 안과
Tel: 053-620-3445, Fax: 053-626-5936
E-mail: sbummlee@med.yu.ac.kr

* 본 논문의 요지는 2006년 대한안과학회 제95회 춘계학술대회, 2006년 24회 ESCRS에서 포스터로 발표되었음.

방식으로 중심잡기를 시행하였다. 수술자가 지정한 연마중심의 정확도가 어떤지 술 후 각막형태검사를 통하여 확인하였으며, 중심이탈 정도에 영향을 미치는 인자를 알아보고자 하였다.

대상과 방법

대상환자

2002년 9월부터 2006년 1월까지 본원 안과에서 상피제거회전술(Amoils' epithelial scrubber[®], Innovative excimer solutions Inc., USA)로 상피를 제거하고, 엑시머레이저(VISX STARTM S4 with version 4.61 software, USA)를 조사한 후 바로 차가운 평형염액(BSS[®], Alcon laboratories Inc., USA)으로 세척하고 안대렌즈(Focus[®], CIBA Vision Ltd., USA)를 착용시키는 ASA-PRK를 시행한 모든 환자 62명, 109안을 대상으로 하였다. 대상 환자의 술 전 평균연령은 25.5세(19~43세)이었고, 성별은 여자가 34명 62안이고 남자가 28명 47안이었으며, 평균 구면렌즈대응치는 -4.71 ± 1.52 디옵터(Diopters, D)이었다(Table 1).

술 전 검사

술 전 모든 환자들은 나안 및 교정시력검사, 현성 및 조절마비 굴절검사, 각막곡률측정, 자동각막굴절검사, 안압측정, 안저검사, 중심각막두께측정, 각막형태검사 및 파면수차검사 등을 시행하였다. 이때 술 전 현성굴절검사는 1주 간격으로 3회 이상 실시하였다. 수술값은 조절마비굴절검사, 자동각막굴절검사 및 파면수차검사의 굴절값을 참조하여 현성굴절검사값을 기준으로 입력하였다.

콘택트렌즈를 착용한 경우 소프트렌즈는 2주, 하드렌즈는 3주 이상 착용을 중단시킨 후 모든 검사를 시행하였으며, 과거력상 창상치유를 지연시키는 특이한 선

행질환이 있는 환자는 없었다. 대상 환자에게 수술방법, 주의사항 및 합병증 등을 자세히 설명하고 수술동의서를 받았으며, 수술은 술 전 굴절이상을 모두 교정하는 것을 원칙으로 하였다.

수술방법

0.5% proparacaine hydrochloride (Alcaine[®])를 술 전 2분 간격으로 3회 점안하여 점안마취를 시행하고 개검기로 안검을 벌렸다. Fixation ring (Katena products Inc., USA)을 이용하여 안구를 가볍게 고정된 후, 상피제거회전술을 작동시킨 채로 각막중심부에 지그시 눌러주면서 상피를 신속히 제거하였다. VISX 기종의 경우 3 mm, 6 mm의 동심원과 중심부의 십자선(reticle)이 수술현미경 하에서 환자의 각막 위에 제시된다. 이 때 수술자는 수술현미경의 조도를 낮추어 환자의 동공크기가 3 mm 이상이 되도록 하고, 수동중심잡기방식(manual centering mode)으로 중심부의 십자선을 동공중심에 맞추었다. 동시에 눈추적장치(ActiveTrakTM)의 정상적 작동이 허락되는 범위(0.5 mm) 이내에서 6 mm 동심원을 각막윤부와 같은 중심을 가지도록 위치시키는데 집중하여 6 mm 동심원의 위치가 어느 한 사분면으로도 확인하게 치우치지 않도록 노력하였으며, 이에 따라 수술현미경 하 보여지는 동공중심에서 각막의 기하학적 중심 쪽으로 보정하여 연마중심을 수술자가 직접 지정하였다. 수술자 지정 연마중심과 눈추적장치 결정 동공중심 간의 거리를 나타내는 술 중 ActiveTrakTM 화면의 수직척도값(vertical scale bar, %)을 확인하였다(Fig. 1). 에너지 밀도는 180 mJ/cm^2 , 반복률은 10Hz, 치료범위는 6 mm로 하여 자동화된 프로그램(single and multi-pass multi-zone algorithms)에 의해 중심부에서 주변부로 레이저를 조사하였다.

술 후 처치

레이저 조사 후 바로 4℃의 차가운 평형염액 10 ml로 2분간 세척하였다. 술 후 0.3% ofloxacin (Tarivid[®], Santen Inc., Japan), 0.1% diclofenac sodium (Voltaren[®] SDU, Novartis, USA) 및 1% cyclopentolate hydrochloride (Cyclogyl[®], Alcon laboratories Inc., USA)를 점안하고 안대렌즈(Focus[®], CIBA Vision Ltd., USA)를 착용시켰다.

각막상피가 재생되는 2~3일간 Tarivid[®]와 Voltaren[®] SDU 점안액을 하루에 4회 점안하였다. 안대렌즈는 상피가 완전히 재생될 때까지 착용하였다. 상피재생 후

Table 1. Characteristics of 109 eyes before ASA-PRK

Parameters	Mean±SD (range)
Age (years)	25.5±5.1 (19 to 43)
Gender	
Male	28 patients 47 eyes
Female	34 patients 62 eyes
Sphere (D)	-4.42±1.45 (-1.60 to -9.00)
Cylinder (D)	-0.57±0.60 (0 to -2.50)
Spherical equivalent (D)	-4.71±1.52 (-1.75 to -9.25)

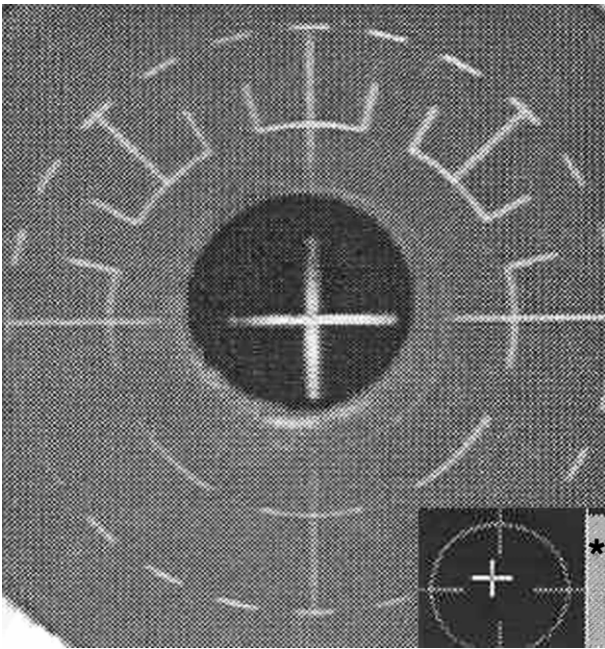


Figure 1. Vertical scale bar* of ActiveTrak™ system. The vertical scale bar to the right of the ActiveTrak™ icon represents the distance between tracking system determined pupil center and surgeon-selected ablation center. For example, this vertical scale bar shows pupil offset by 0.5 mm.

0.1% fluorometholone acetate (Flarex®, Alcon laboratories Inc., USA)와 0.1% sodium hyaluronate (Hyalain® 0.1, Santen Inc., Japan)를 첫 1개월간 하루 4회로 시작하여 월 1회씩 점안회수를 줄여 술 후 4개월까지 사용하였다.

자료분석과 통계처리

술 후 1개월 각막형태검사의 color-mode에서 동공 중심에서부터 연마중심이 이탈된 정도를 측정하였다. 연마중심은 X, Y축으로 연마부위의 네 개의 최대가장자리에서 교차하는 선을 그어 만나는 점으로 하였고, 동공중심은 pupil-finding software (EyeSys Corneal Analysis System™ with pupil finding software, EyeSys Laboratories, Inc., USA)를 이용하여 정하였다. 검사오차를 줄이기 위하여 확대한 결과지를 이용하였으며, 세 명의 검사자가 서로 독립적으로 거리(mm)와 각도(meridian)를 측정하여 중심이탈의 평균값과 표준편차를 구하였고, 각 사분면에서의 분포 빈도를 확인하였다.

중심이탈에 영향을 주는 인자를 알아보기 위해 환자와 연관된 인자(성, 나이, 좌우안, 첫 수술안과 두 번째 수술안), 술자와 연관된 인자(대상안의 첫 59안과 최근

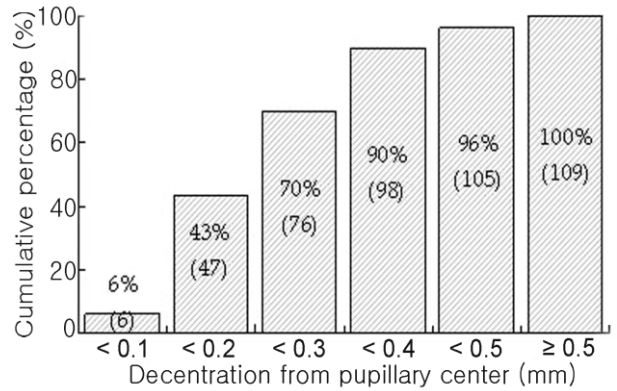


Figure 2. Cumulative percentage graph according to decentration groups in 0.1 mm steps.

50안, 수직척도값 50% 미만과 이상), 수술방법과 연관된 인자[photorefractive keratectomy (PRK)와 photoastigmatic refractive keratectomy (PARK), 수술교정량 -4.71D 이하와 초과]로 나누어 분석하였다.

자료의 통계처리는 SPSS 통계프로그램 version 12.0을 이용하였다. 연마중심의 분포에 대하여 χ^2 -test, 중심이탈 영향인자 분석에 대하여 t-test, 중심이탈 정도와 수술 교정량 및 수직척도값 간의 상관관계 분석에 대하여 Pearson correlation test를 시행하였다. p값이 0.05 미만인 경우를 통계적인 의의가 있는 것으로 간주하였다.

결 과

1. 중심이탈의 평균 및 분포

총 109안에서 평균 중심이탈은 0.24 ± 0.13 mm(범위 0.04~0.83 mm)이었다. 동공중심에서부터 중심이탈 정도는 0.1 mm 이내가 6%, 0.2 mm 이내가 43%, 0.3 mm 이내가 70%이었으며, 총 109안 중 105안(96%)에서 0.5 mm 이하의 중심이탈을 보여 우수한 연마중심 정확도를 나타내었다(Fig. 2).

연마중심의 분포는 상비측이 44안(40%)으로 가장 많았으며, 상이측 35안(32%), 하비측 17안(16%), 하이측 13안(12%)의 순이었다(Table 2, Fig. 3). 각 사분면에서의 연마중심의 분포 빈도는 각 사분면 별로 통계적으로 유의하게 다르게 나타났다($p < 0.05$, χ^2 -test). 특히 Fig. 3의 산포도에서 수술경험이 축적될수록 연마중심 성적이 개선되는 경향과 심한 연마중심 이탈을 보이는 경우가 줄어들음을 확인할 수 있었다.

Table 2. Distribution of center of the ablation zone relative to the center of entrance pupil

Laterality	Location of ablation zone center, eyes (%)				Total
	SN [*]	ST [†]	IN [‡]	IT [§]	
Right eye	15 (13.8)	24 (22.0)	7 (6.4)	7 (6.4)	53 (48.6)
Left eye	29 (26.6)	11 (10.1)	10 (9.2)	6 (5.5)	56 (51.4)
Total	44 (40.4)	35 (32.1)	17 (15.6)	13 (11.9)	109 (100)

^{*} SN: Superior-Nasal, [†] ST: Superior-Temporal, [‡] IN: Inferior-Nasal, [§] IT: Inferior-Temporal.

There was statistically significant difference in the distribution of the center of the ablation zone for each quadrant ($p < 0.05$, χ^2 -test).

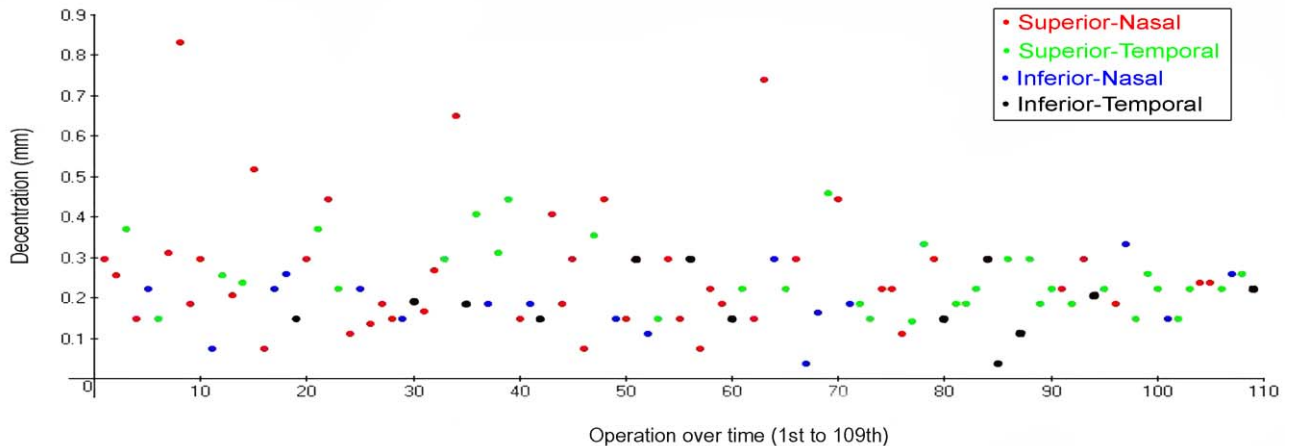


Figure 3. Scatter plot of the amount of ablation decentration over time.

2. 중심이탈에 영향을 미치는 인자에 대한 분석

환자 연관인자에 따른 분석에서 성별로는 남성은 0.26 ± 0.15 mm, 여성은 0.23 ± 0.11 mm, 25세를 기준으로 분류시 25세 미만군은 0.24 ± 0.12 mm, 25세 이상군은 0.25 ± 0.13 mm의 중심이탈을 나타내었다. 우안을 수술 받은 군에서는 0.23 ± 0.11 mm, 좌안을 수술 받은 군에서는 0.26 ± 0.15 mm의 중심이탈을 나타내었으며, 양안을 수술한 군에서 먼저 수술한 눈은 0.24 ± 0.12 mm, 나중에 수술한 눈은 0.23 ± 0.10 mm의 중심이탈을 나타내었다. 남성, 25세 이상, 좌안 및 첫 수술안 등에서 중심이탈 정도가 다소 높게 나타났으나 통계적 유의성은 없었다($p > 0.05$, t-test)(Table 3, Fig. 4).

수술 연관인자에 따른 분석에서 수술교정량이 -4.71 D 이하인 군에서는 0.25 ± 0.14 mm, -4.71 D 초과인 군에서는 0.24 ± 0.12 mm의 중심이탈을 보였고, 수술방법으로 분류시 PARK를 시행한 군에서는 0.26 ± 0.14 mm, PRK를 시행한 군에서는 0.23 ± 0.10 mm의 중심이탈을 보였다. 수술교정량 -4.71 D 이하인 군과 PARK를 시행한 군에서 중심이탈 정도가 다소 높게 나타났으나 통계적 유의한 의미는 없었다($p > 0.05$,

t-test)(Table 3, Fig. 4).

수술자 연관인자에 따른 분석에서 먼저 수술한 59안에서는 0.25 ± 0.15 mm, 나중에 수술한 50안에서는 0.23 ± 0.11 mm의 중심이탈을 보였으며, 수직척도값 50% 미만인 군은 0.23 ± 0.12 mm, 50% 이상인 군은 0.25 ± 0.13 mm의 중심이탈을 나타내었다. 대상안의 첫 59안, 수직척도값이 50% 이상인 군에서 다소 높은 중심이탈 값을 보였으나 통계적 유의성은 없었다($p > 0.05$, t-test)(Table 3, Fig. 4).

3. 연마중심이탈 정도의 상관관계 분석

수술교정량과 술 후 중심이탈 값의 상관관계 분석에서, r값이 -0.019 로 나타나 수술교정량 증가에 따른 술 후 중심이탈 값의 증가를 보이는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다($r = -0.019$, $p = 0.85$, Pearson correlation test)(Fig. 5).

눈추적장치 결정 동공중심으로부터 수술자 지정 연마중심까지의 거리를 나타내는 수직척도값과 술 후 중심이탈 정도와의 상관관계 분석에서, r값이 0.033 으로 나타나 수직척도값 증가에 따른 술 후 중심이탈 값의 증가를 보이는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다

Table 3. Decentration amount of the center of ablation zone relative to the center of entrance pupil according to the patient-related factors, the surgery-related factors and the surgeon-related factors

Characteristics		N	Mean±SD (mm)	P-value
Patient-related factors				
Gender	Male	47	0.26±0.15	0.22
	Female	62	0.23±0.11	
Age (years)	< 25	60	0.24±0.12	0.66
	≥ 25	49	0.25±0.13	
Laterality	Right eye	53	0.23±0.11	0.21
	Left eye	56	0.26±0.15	
Order of procedure (in cases of bilateral surgery)	1st	47	0.24±0.12	0.71
	2nd	47	0.23±0.10	
Surgery-related factors				
Attempted correction (SE)	≤ -4.71D	58	0.25±0.14	0.69
	> -4.71D	51	0.24±0.12	
Type of procedure	PARK [*]	73	0.26±0.14	0.37
	PRK [†]	36	0.23±0.10	
Surgeon-related factors				
Learning effect	First 59 procedures	59	0.25±0.15	0.36
	Recent 50 procedures	50	0.23±0.11	
Vertical scale bar	< 50%	58	0.23±0.12	0.50
	≥ 50%	51	0.25±0.13	

* PARK: photoastigmatic refractive keratectomy, † PRK: photorefractive keratectomy.

The decentration amount was not depending on the patient-related factors (gender, age, laterality, and order of procedure), the surgery-related factors (amount of attempted correction, type of procedure), and the surgeon-related factors (learning effect, vertical scale bar) in this study.

($r=0.033$, $p=0.73$, Pearson correlation test) (Fig. 6).

고 찰

각막굴절수술에서 정확한 중심잡기는 술 후 성적을 좌우하고 중심이탈로 인한 술 후 시력 및 대비감도의 저하, 눈부심, 단안복시, 달무리 및 부족교정 등의 문제점을 최소화시킬 수 있는 가장 중요한 단계이다.¹⁵ 각막굴절수술의 연마중심에 관하여 Uozato and Guyton¹⁸이 제시한 시선(line of sight) 개념에 근거한 동공중심을 이용하는 방법이 기준으로 인정되고 있으나, 그 밖에도 연마중심으로 각막의 기하학적 중심, 시축과 각막이 만나는 점, 각막의 대광반사점 등을 이용한 다양한 연구들이 제시된 바 있다.¹⁸⁻²⁰ 엑시머레이저 장비의 발전에 따라 눈추적장치에 의해 자동으로 지정되는 연마중심을 기준으로 굴절교정수술이 이루어지면서 정확한 연마중심잡기에 대한 관심이 줄어들게 되었다. 그러나 최근에 눈추적장치의 한계점을 지적하는 연구 논문들이 발표되면서 임상적인 주목을 끌고 있다. Tsai and Lin,²¹ Choi et al²²의 연마중심 성적에 관

한 최근 연구에서 눈추적장치를 이용하더라도 이상적인 중심잡기 성적이 보장되지는 않는다고 하였으며, Bueeler and Mrochen²³은 실험적 모델을 이용한 연구에서, entrance pupil shift에 대한 측정치가 실제값보다 최대 30% 정도 과소평가될 수 있음을 보고하였다. 그리고 최근 pupil centroid shift 개념²⁴과 술 중 자연적인 안구회선의 발생²⁵이 보고되었고, 또한 시력의 질 특히 대비감도 개선을 위해 시행하는 파면고위수차 굴절교정수술에서 술 전 파면고위수차 측정시의 동공중심과 술 중 조명하의 동공중심이 차이가 있음이 밝혀지는 연구논문까지 제시되었다.²⁶

본 연구에서 사용한 기종은 VISX사의 ActiveTrakTM이라는 눈추적장치를 적용하고 있으며, 술자들은 중심잡기에 있어서 자동화된 프로그램을 이용하거나 수동 중심잡기 방식을 이용하도록 되어 있다. 술자가 자동화된 프로그램을 이용할 경우 TPC에 따라 수술이 자동으로 진행되며, 수술자가 수동중심잡기방식을 이용하여 수술중심을 지정할 경우 화면상의 ActiveTrakTM icon 안에 수직막대가 나타나고 그 수직막대에 의해 술자가 지정한 수술중심이 눈추적장치가 인식한 동공중심으로부터 어느 정도 떨어져 있는지 확인할 수 있다.

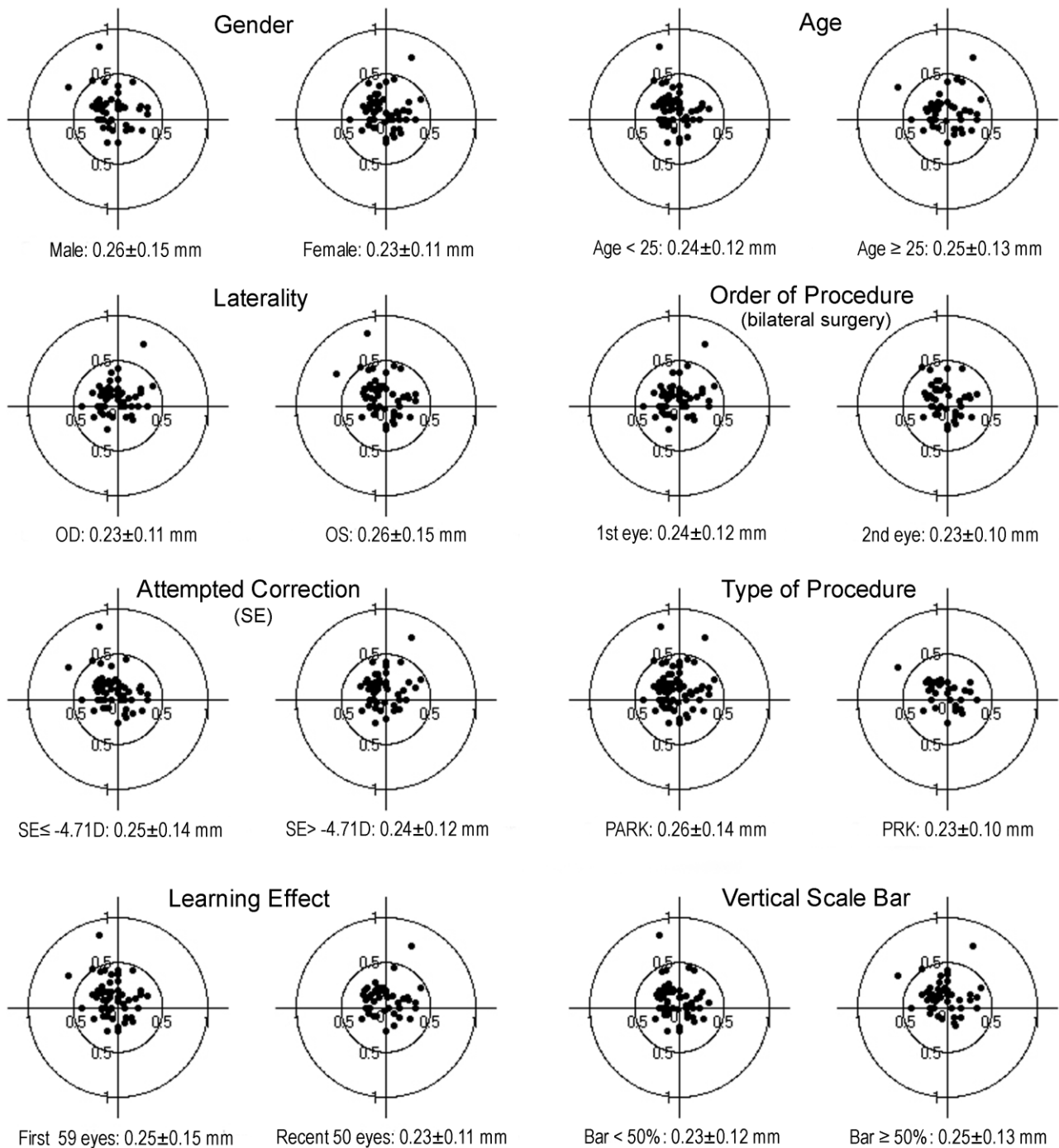


Figure 4. Decentration amount of the center of ablation zone relative to the center of entrance pupil according to gender, age, laterality, order of procedure, attempted correction, type of procedure, learning effect and vertical scale bar. In each matched group, there were no statistically significant factors which influence the amount of decentration.

본 연구의 수술자는 눈추적장치를 이용하되 자동화된 프로그램에 의해 제시되는 TPC를 이용하지 않고, 수술자가 직접 지정하는 SAC를 이용하는 방식의 ASA-PRK 수술을 시행하였는데, VISX사는 SAC는 술 중 눈추적장치를 이용할 경우 TPC로부터 0.5 mm

를 넘지 않도록 설계하고 있으며, 따라서 수직척도값이 100% 이상인 수술중심은 지정 할 수가 없다. 본 연구에서와 유사한 중심잡기 방법을 적용한 Giaconi and Manche²⁷의 연구에서는 눈추적장치를 이용하면서 본 연구에서처럼 TPC 대신에 수직척도값이 25%를 넘지

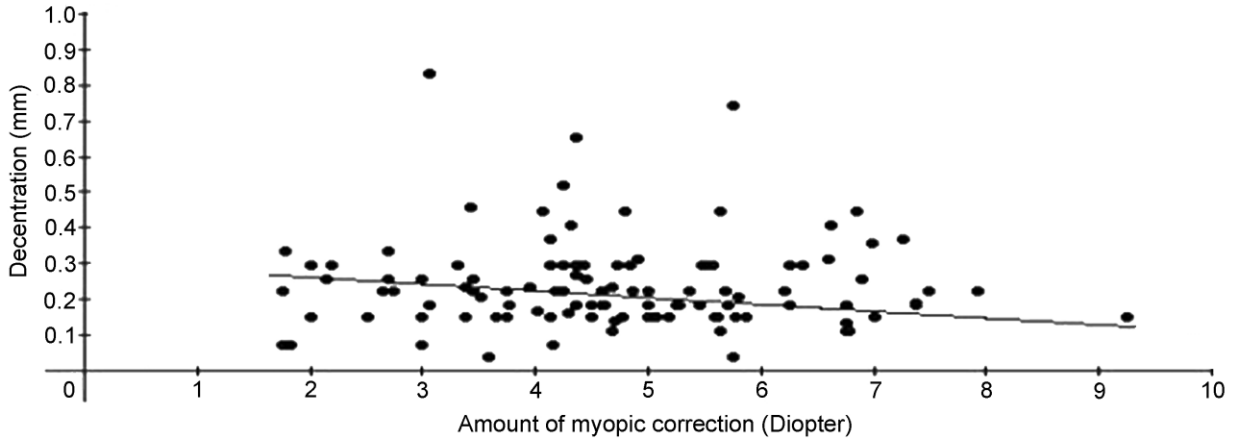


Figure 5. Scatter plot of the amount of ablation decentration versus the amount of myopic correction. No significant correlation was observed between the amount of myopic correction and the measured amount of decentration (Pearson correlation coefficient, $r=-0.019$, $p=0.85$).

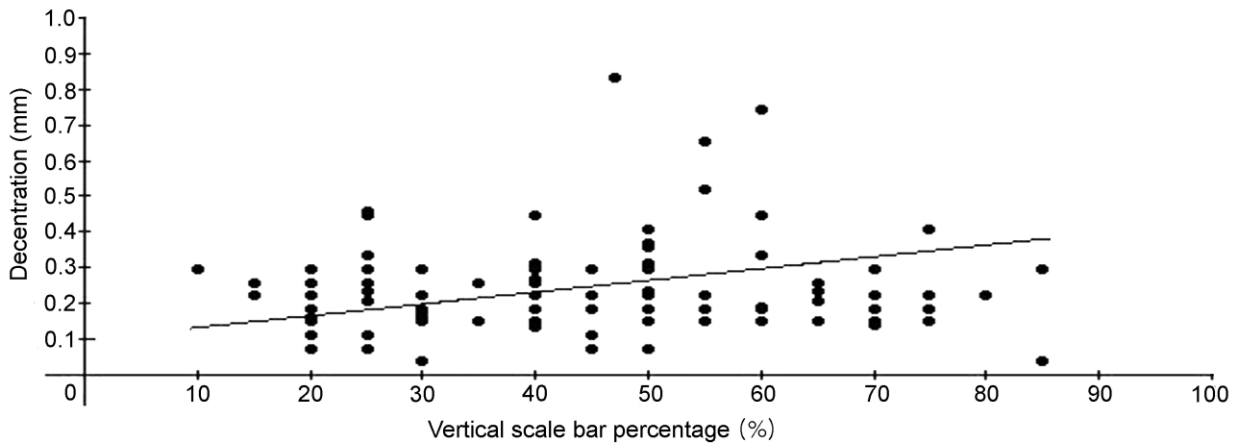


Figure 6. Scatter plot of the amount of ablation decentration versus vertical scale bar percentage. There was no significant correlation between the measured amount of decentration and the vertical scale bar of ActiveTrak™ icon on the computer screen representing the distance from tracking system determined pupil center to surgeon-selected ablation center (Pearson correlation coefficient, $r=0.033$, $p=0.73$).

않는 범위 내에서의 SAC를 지정하여 LASIK을 시행한 25안에서 0에서 0.77 mm, 평균 0.22 ± 0.20 mm의 중심이탈을 보이는 우수한 연마중심 성적을 보고하였다. 본 연구의 수술자는 ASA-PRK를 시행해 오면서, TPC와 SAC의 차이가 수직척도값에서 Giaconi and Manche²⁷가 제시한 25%보다 큰 85%를 보인 경우에서도 술 후 각막형태검사를 통해 연마중심이탈이 0.04 mm로 매우 우수한 중심잡기 성적을 보이는 것을 경험하게 되었다. 따라서 술자의 증례를 통한 임상경험과 상기에 제시된 다른 연구 보고들의 근거를 배경으로, ASA-PRK 수술에서 각 환자에게 다양하게 일어

나는 동공의 상황을 고려하여 술자가 직접 정하는 SAC가 얼마나 정확한 중심잡기를 제공하는지 알아보고자 본 연구를 시행하게 되었다.

Table 4에서 보는 바와 같이 중심이탈 성적에 관한 여러 연구들의 결과를 분석해 보면,^{10-12,21,22,27-30} 눈추적장치를 이용하면서부터 1 mm 이상의 심한 중심이탈을 보이는 결과가 줄어드는 것을 확인할 수 있었고, 그리고 과거 눈추적장치가 없이 시행된 연마중심의 성적에 비해 최근 눈추적장치를 이용한 연마중심의 성적들이 일반적으로 다소 향상되는 경향을 보이거나 반드시 그렇지 않은 보고도 확인되었다. 서로 다른 연구들에서

Table 4. Comparison of decentration of the ablation zone with the result of other studies

Study	No of case	Type of procedure	Type of Excimer laser	Eye-tracker	Decentration			Shift of Decentration
					Mean±SD (mm)	Cumulative percentage (%)		
						0.5 mm ↓	1 mm ↓	
Cavanaugh ^{10,11}	110	PRK	Summit UV200	No	0.52	57	93	down, right
Lin ³⁰	97	PRK	Visx 20/20 B	No	0.36±0.25	85	98	
Amano ¹²	60	PRK	Summit UV200	No	0.51±0.31	60	93	down
Lee ²⁹	190	PRK	Visx 20/20 B	No	0.33±0.21	83	99	sup-nasal
Tsai ²¹	16	PRK	Schwind Keratom	Yes	0.33±0.32	69	100	no
	161	LASIK		Yes	0.35±0.26	70	100	no
Pineros ²⁸	18	LASIK	Chron Keracor 117-C	No	0.55±0.30			
	20	LASIK		Yes	0.43±0.23			
Choi ²²	41	LASIK	LaserScan LSX	No	0.49±0.24	51	97	inferior
	41	LASIK		Yes	0.38±0.23	66	100	superior
Giaconi ²⁷	25	LASIK	Visx Star S2/S3	No	0.21±0.26	96	100	no
	25	LASIK		Yes	0.22±0.20	88	100	left
This study	109	ASA-PRK	Visx Star S4	Yes	0.24±0.13	96	100	sup-nasal

눈추적장치를 이용하지 않을 경우 0.33~0.52 mm, 눈추적장치를 이용하는 경우 0.22~0.43 mm의 분포를 보여 눈추적장치를 이용할 경우 전반적인 중심잡기 성적이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 동일한 연구에서 눈추적장치를 이용할 경우 그렇지 않은 경우에 비해 일반적으로 평균중심이탈 값이 작아지는 경향을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 109안을 대상으로 눈추적장치가 장착된 엑시머레이저를 이용한 ASA-PRK를 시행한 결과, 0.24±0.13 mm의 중심이탈을 나타내어 다른 연구들에 비해 상대적으로 우수한 연마중심 성적을 보였음을 알 수 있었다.

엑시머레이저굴절수술 후 각막형태검사를 이용한 연마중심에 관한 연구들 중에서 연마중심의 위치가 동공 중심에 비해 어떤 경향을 나타내며 치우친다는 보고와 그렇지 않다는 보고가 있다. 연마중심이 치우치는 경향이 없다는 보고에서는 그들의 결과에 따라 레이저시스템의 정렬이나 중심잡기 방법의 조정이 불필요하다고 하였다.⁹ 그러나 연마중심의 치우침이 있다는 연구들에서는 다양한 경향을 보고하였다. Cavanaugh et al^{10,11}은 우하방으로, Klyce and Smoek³¹과 Amano et al¹²은 아래쪽으로, 또 Lin¹³은 상방으로 치우치는 경향이 있다고 보고하였다. 그리고 최근 Choi et al²²은 눈추적장치를 이용하지 않을 시 하방으로, 눈추적장치를 이용 시 상방으로 치우치는 경향을 보고하였고, Giaconi and Manche²⁷는 눈추적장치를 이용하지 않을 시 특별한 치우침이 없었으나, 눈추적장치를 이용 시 왼쪽으로 치우친다고 보고하였다. 본

연구에서는 상비측, 상이측, 하비측, 하이측의 순서로 연마중심의 분포 빈도를 보였으며, 이러한 연마중심의 각 사분면에서의 분포 빈도는 카이제곱적합도검정에서 통계적으로 유의하게 각 사분면별로 분포 빈도가 다를 것을 보였다. 본 연구에서 상비측으로 연마중심이 치우치는 경향에 대한 설명으로는 Kato et al²⁵이 발표한 정상안에서도 상측으로 동공편위가 일어나고, 홍채 기울임이 80.3%에서 이측으로 치우쳐 있다는 보고가 매우 설득력이 있는 근거가 될 것으로 생각되며, 또한 술 중 환자가 긴장하여 양와위에서 다소 턱을 당기는 자세가 되어 연마중심을 상측으로 치우치게 하는데 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 대개 상비측으로 연마중심이 치우치는 경향을 고려하여 ASA-PRK를 시행할 때 수술자가 각막의 기하학적 중심을 향해 하이측으로 보정하여 SAC를 지정하는 노력이 필요하다고 생각된다. 또한 저자는 이러한 연구결과를 기초로, 다양한 엑시머레이저 기종과 눈추적장치를 사용하는 각막굴절수술에서 각 수술자는 술 후 자신들의 결과를 면밀히 검토한 후 특정한 연마중심의 치우침 현상이 있는지 확인하여 자신의 중심잡기 술기 능력을 개선시키려는 피드백 노력이 필요함을 강조하고자 한다.

Tsai and Lin²¹은 양안에 LASIK을 시술 받은 64명의 환자에서 첫 번째 수술안이 두 번째 수술안에 비해 유의하게 중심이탈이 크다고 하였으며, 본 연구에서도 두 번째 수술안에서 중심이탈의 감소를 보였으나 통계적 의미는 없었다. 또한 본 연구에서 성이나 나이,

좌우안에 따른 중심이탈의 유의한 차이는 없었다. Cantera et al³²은 175안의 근시안을 3D 간격으로 나누어 술 전 교정량과 중심이탈 정도를 비교하였는데, 수술교정량이 클수록 통계적으로 유의하게 중심이탈이 증가하였다고 보고하였으며, Giaconi and Manche²⁷도 71안을 대상으로 눈추적장치를 이용한 연구에서 술 전 근시가 심할수록 유의하게 중심이탈 값이 증가하였다고 보고하였다. Tsai and Lin²¹도 177안을 대상으로 한 연구에서 -6.00D 이상의 고도근시 군에서 -6.00D 미만의 근시 군보다 중심이탈이 유의하게 증가하였다고 발표하였다. 본 연구에서는 술 전 평균값인 -4.71D를 기준으로 비교하였는데 두 군에서 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 수술방법에 따라서도 통계적 유의성을 나타내지는 않았다. Tsai and Lin²¹은 먼저 수술한 50안과 나중에 수술한 50안의 중심이탈을 비교하여 통계적 차이가 없었다고 보고하였으며, 본 연구에서도 먼저 수술을 시행한 59안과 나중에 수술한 50안을 비교시 유의한 차이를 보이지는 않았다. 또한 본 연구에서 수직척도값과 술 후 중심이탈 정도와의 상관관계 분석에서, 본 연구의 최대 중심이탈 값 0.83 mm 이내의 범위에서는 수직척도값 증가에 따른 술 후 연마중심이탈 값의 증가를 보이는 상관관계의 유의성을 나타내지 않았다.

각막굴절교정수술의 특성상 수술자가 중심잡기에 대해 주의를 집중하더라도 어느 정도의 중심이탈은 초래될 수 밖에 없다. 그 원인들로 Spadea et al³³은 환자의 수술안과 현미경이 완벽한 동축인 상태가 아니라는 점, 수술 진행 중 환자나 수술자의 작은 불수의적 안구 움직임이 있다는 점, 수술 중 정확한 주시 상태를 계속 유지하기가 어렵다는 점, 마지막으로 환자의 동공자체가 움직여서 중심을 유지하기가 힘들다는 점 등을 지적하였으며, 특히 고도근시에서는 수술시간이 길어져 주시 상태를 계속 유지하기가 힘들기 때문에 중심이탈의 가능성이 더 커진다고 하였다. 실제로 Porter et al²⁴은 수술 전에 이미 술자에 의해 0.21 ± 0.08 mm의 중심이탈이 발생하며 그 경향이 우안에서는 하이측, 좌안에서는 하비측이라 하였고, 수술 중에도 2° 이내의 안구회선과 0.07 ± 0.03 mm의 환자 눈 움직임이 발생한다고 하였다. 또한 Kato et al²⁵은 정상인에서도 동공 자체의 미세한 편위(pupil decentration)와 홍채기울임과 같은 세극등 검사에서 구분할 수 없는 해부학적 구조 이상이 있을 수 있고, 이들이 술 후 최대교정시력에 영향을 미친다고 보고하였다. 본 연구에서는 총 4안에서 0.5 mm 이상의 중심이탈이 발생하였으며 최대 0.83 mm의 중심이탈이 있었다. 0.83 mm의 최대 중심이탈을 보인 환자는 술 전 교정량이 -2.70D sph

-0.70D cyl $\times 170^\circ$ 이었으며, 수직척도값은 47%이었고 술 후 상비측으로 0.83 mm의 중심이탈을 보였으나 술 후 3개월에 나안시력이 1.0이었으며, 굴절값은 +0.69D sph+0.30D cyl $\times 61^\circ$ 로 비교적 높은 중심이탈에도 불구하고 안전한 결과를 나타내었다. 본 증례는 환자의 주시가 불량하여 수술자가 SAC의 지정 때 각막의 기하학적 중심 쪽으로 보정이 힘들었으며 상비측으로 편위된 동공의 중심을 따라간 결과로 해석된다. 그 다음으로 0.74 mm의 중심이탈을 보인 환자는 술 전 교정량이 -5.00 D sph -1.50D cyl $\times 175^\circ$ 이었으며, 수직척도값은 60%이었고 술 후 상비측으로 0.74 mm의 중심이탈을 보였으나 술 후 4개월에 나안시력이 1.0이었으며, 굴절값은 -0.46D sph -0.59D cyl $\times 73^\circ$ 로 비교적 안전한 결과를 확보하였다.

또한 최근에는 pupil centroid shift²⁴의 개념과 술 중 자연적으로 발생하는 안구회선에²⁵ 대해 알려지면서, 실제 동공중심과 TPC가 다른 것을 보정하기 위해 동공의 크기에 영향을 받지 않는 홍채인식(iris registration)에 의한 중심잡기 방식이 새롭게 제시되었다. 일부 술자들은 홍채인식을 이용하여 수술을 시행한 군에서 수술 성적이 더 좋다고 하나 아직까지 이전 방식과 pupil centroid shift와 홍채인식을 채택한 방식을 비교하는 연구결과는 발표된 적이 없다. 본 연구의 술자는 수년 전부터 pupil centroid shift와 안구회선이 술 전 중심잡기에 영향을 미칠 수 있음을 고려하여, 동공의 편위가 보인 경우에는 눈추적장치의 정상적 작동이 허락되는 0.5 mm 범위 이내에서 각막의 기하학적 중심 쪽으로 보정하여 수술중심을 지정하였다. 이에 따라 술자의 경험에 의해 수직척도값이 50% 이상인 상태에서도 ASA-PRK를 시행하였으며, 이렇게 50% 이상에서 시행된 군에서도 50% 미만에서 시행된 군과 비교할 때 각각 0.25 ± 0.13 mm와 0.23 ± 0.12 mm의 결과를 보여 통계적으로 유의한 중심이탈 값의 차이를 보이지 않았다. 즉 이러한 결과는 경우에 따라서는 술자가 의도하는 TPC로부터의 보정을 시키지 않았다면 더 많은 중심이탈이 초래될 수 있었음을 보여준다. 이렇게 선별적으로 TPC를 보정해 주는 수술에서 좋은 성적을 얻을 수 있었던 것은 각 환자의 다양한 해부학적 변수를 보정하지 못하는 눈추적장치에 의한 연마중심(TPC)을 사용하지 않고, 술자의 풍부한 경험에 의거하여 pupil centroid shift를 고려한 중심잡기(SAC)를 시행함으로써 가능하였던 것으로 생각된다.

본 연구에서 눈추적장치를 이용한 ASA-PRK는 본원의 눈추적장치가 없었던 Lee and Kim²⁹의 이전 연구값 0.33 ± 0.21 mm에 비해 중심잡기 성적이 개선되

었으며, 연마중심이탈의 최대값 또한 종전의 1.36 mm에 비해 0.83 mm로 개선되어 연마중심의 심각한 중심이탈을 방지하는데 효과가 있었음을 확인할 수 있었다. 이는 수술자의 SAC 보정 한계를 TPC로부터 0.5 mm 이내로 제한하는 눈추적장치의 이점이 반영되었기 때문으로 생각된다. 하지만 눈추적장치 작동 하에서도 0.83 mm에 이르는 중심이탈을 보여 눈추적장치 단독 만으로는 좋은 중심잡기 성적이 보장되지는 않는다는 것을 알게 되었다. Tsai and Lin²¹도 TPC를 연마중심으로 하여 눈추적장치를 이용시, 심각한 중심이탈은 막을 수 있으나 그 단독으로는 좋은 중심잡기를 보장할 수 없으며, 환자의 협조와 주시가 중요하다고 하였다. 그리고 Giaconi and Manche²⁷도 SAC를 연마중심으로 하여 눈추적장치를 이용시, 1 mm 이상의 중심이탈이 일어나는 정도는 줄었으나 현재의 방법으로는 중등도의 중심이탈을 완전히 막을 수는 없다고 보고하였다.

결론적으로 저자는 ASA-PRK에서 눈추적장치의 이용이 중심잡기 성적의 개선에 기여하였음을 알 수 있었으며, 본 연구를 통해 수술 중 동공편위가 있을 경우 각막의 기하학적 중심 쪽으로 보정해 주어야 보다 우수한 수술 후 연마중심의 확보가 가능함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구는 수술 편의성 때문에 연마중심의 보정 없이 눈추적장치에만 의존하는 수술을 지양하고, 수술 중 각각의 환자에서 보이는 다양한 동공 편위를 고려해서 수술자가 직접 연마중심을 지정하는 노력이 중요함을 보여준다고 생각된다. 그리고 각기 다른 엑시머레이저 기종과 눈추적장치를 사용하는 각막굴절수술에서 각 수술자는 자신들의 기종이 보이는 술 후 결과 특성을 면밀히 검토하여, 자신의 중심잡기 술기 능력을 개선시키려는 피드백 노력이 꾸준히 필요함을 강조하고자 한다.

아울러 본 연구는 전형적인 retrospective, non-comparative, consecutive case series study로 대조군을 가지지 못하는 임상적 연구에 국한되어 결과를 객관화시키는 데는 한계를 가진다. 앞으로 눈추적장치가 제시하는 수술중심에 따라 시행한 대조군과 비교하여 명확한 결과를 제시하는 multi-center, prospective, randomized clinical trial이 이루어진다면 보다 임상적으로 가치 있는 의의를 지닐 것으로 생각된다.

향 후 본 연구의 중심잡기 방법이 시력의 질적 향상과 관계가 있는 고위 수차에 어떤 영향을 미치는 지에 대한 연구가 진행되어야 할 것이며, 앞으로의 눈추적장치는 pupil centroid shift와 안구회선뿐만 아니라 수술 중에 일어나는 각 환자의 다양한 홍채기울임까지도 보정할 수 있는 능력이 갖추어지는 방향으로 발전하여야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) Trokel SL, Srinivasan R, Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol* 1983;96:710-5.
- 2) Gartry DS, Kerr Muir MG, Marshall J. Excimer laser photorefractive keratectomy: 18 month follow-up. *Ophthalmology* 1992;99:1209-19.
- 3) Sher NA, Barak M, Daya S, et al. Excimer laser photorefractive keratectomy in high myopia. A multicenter study. *Arch Ophthalmol* 1992;110:935-43.
- 4) Tengroth B, Epstein D, Fagerholm, et al. Excimer laser photorefractive keratectomy for myopia. Clinical results in sighted eyes. *Ophthalmology* 1993;100:739-45.
- 5) Mrochen M, Eldine MS, Kaemmerer M, et al. Improvement in photorefractive corneal laser surgery results using an active eye-tracking system. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1000-6.
- 6) Stojanovic A, Nitter TA. 200 Hz flying-spot technology of the LaserSight LSX excimer laser in the treatment of myopic astigmatism: six and 12 month outcomes of laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1263-77.
- 7) Lee SB, Sagong M. Clinical outcome of PRK with the use of a rotary brush, corneal chilling, and bandage contact lens. *J Korean Ophthalmol Soc* 2004;45:15-25.
- 8) Lee SB, Chung MS. Advanced Surface ablation-Photorefractive Keratectomy (ASA-PRK): Safety and Clinical outcome for the correction of mild to moderate myopia with a thin cornea. *J Korean Ophthalmol Soc* 2006;47:1274-86.
- 9) Wilson SE, Klyce SD, McDonald MB, et al. Changes in corneal topography after excimer laser photorefractive keratectomy for myopia. *Ophthalmology* 1991;98:1338-47.
- 10) Cavanaugh TB, Durrie DS, Riedel SM, et al. Topographical analysis of the centration of excimer laser photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:136-43.
- 11) Cavanaugh TB, Durrie DS, Riedel SM, et al. Centration of excimer laser photorefractive keratectomy relative to the pupil. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:S144-8.
- 12) Amano S, Tanaka S, Shimizu K. Topographical evaluation of centration of excimer laser myopic photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 1994;20:616-9.
- 13) Lin DTC. Corneal topographic analysis after excimer photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 1994;101:1432-9.
- 14) Steinberg EB, Waring GO III. Comparison of two methods of marking the visual axis on the cornea during radial keratotomy. *Am J Ophthalmol* 1983;96:605-8.
- 15) Maloney RK. Corneal topography and optical zone location in photorefractive keratectomy. *Refract Corneal Surg* 1990;6:363-71.
- 16) Mandell RB. Locating the corneal sighting center from videokeratography. *J Refract Surg* 1995;11:253-9.
- 17) Sander DR, Hofmann RF, Salz JJ. *Refractive Corneal Surgery*, 1st ed. Thorofare NJ: Slack Inc, 1986;134

- 18) Uozato H, Guyton DL. Centering corneal surgical procedure. *Am J Ophthalmol* 1987;103:264-75.
- 19) Duke-Elder S, Abrams D. Ophthalmic optics and refraction. In : Duke-Elder S, ed. *System of ophthalmology*, 1st ed. St. Louis: C. V. Mosby, 1970; v. 5. chap. 4
- 20) Pande M, Hillman JS. Optical zone centration in keratorefractive surgery. Entrance pupil center, visual axis, coaxially sighted corneal reflex, or geometric corneal center? *Ophthalmology* 1993;100:1230-7.
- 21) Tsai YY, Lin JM. Ablation centration after active eye-tracker-assisted photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:28-34.
- 22) Choi SH, Kim YS, Yim JH. Topographical analysis of ablation decentration between eye tracker assisted and unassisted LASIK. *J Korean Ophthalmol Soc* 2002;43:650-7.
- 23) Bueeler M, Mrochen M. Limitations of pupil tracking in refractive surgery: Systematic error in determination of corneal locations. *J Refract Surg* 2004;20:371-8.
- 24) Porter J, Yoon GY, MacRae S, et al. Surgeon offsets and dynamic eye movements in laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2058-66.
- 25) Asano-Kato N, Toda I, Sakai C, et al. Pupil decentration and iris tilting detected by Orbscan: Anatomic variations among healthy subjects and influence on outcomes of laser refractive surgeries. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:1928-42.
- 26) Porter J, Yoon GY, Lozano D, et al. Aberrations induced in wavefront-guided laser refractive surgery due to shifts between natural and dilated pupil center locations. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:21-32.
- 27) Giacconi JA, Manche EE. Ablation centration in myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1522-9.
- 28) Pineros OE. Tracker-assisted versus manual ablation zone centration in Laser in situ Keratomileusis for myopia and astigmatism. *J Refract Surg* 2002;18:37-42.
- 29) Lee SB, Kim HK. Corneal topographic evaluation of centration of excimer laser myopic photorefractive keratectomy. *J Korean Ophthalmol Soc* 1996;37:933-44.
- 30) Lin DTC, Sutton HF, Berman M. Corneal topography following excimer photorefractive keratectomy for myopia. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:149-54.
- 31) Klyce SD, Smoek MK. Corneal topography of excimer laser photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:122-30.
- 32) Cantera E, Cantera I, Olivieri L. Corneal topographic analysis of photorefractive keratectomy in 175 myopic eyes. *Refract Corneal Surg* 1993;9:19-22.
- 33) Spadea L, Sabetti L, Balestrazzi E. Effect of centering excimer laser PRK on refractive results: a corneal topography study. *Refract Corneal Surg* 1993;9:22-5.

=ABSTRACT=

Accuracy of Surgeon-Selected Ablation Center in Active Eye-Tracker-Assisted Advanced Surface Ablation-Photorefractive Keratectomy (ASA-PRK)

Sang Bumm Lee, M.D., Ph.D., Myung Jin Cho, M.D.

Department of Ophthalmology, Yeungnam University College of Medicine, Daegu, Korea

Purpose: To evaluate the accuracy of the surgeon-selected ablation center in active eye-tracker-assisted ASA-PRK and to identify factors influencing the ablation center.

Methods: This retrospective study included 109 eyes of 62 patients who underwent active eye-tracker-assisted ASA-PRK (VISX STARTM S4 with ActiveTrakTM System). The location the surgeon-selected ablation center and its distance from the center of the entrance pupil were analyzed by corneal topography (EyeSys Corneal Analysis SystemTM with pupil finding software). The factors influencing centration were investigated.

Results: The mean decentration was 0.24 ± 0.13 mm (range 0.04 to 0.83 mm). One-hundred and five eyes (96%) were within 0.5 mm of the pupillary center. Supero-nasal displacement of the ablation center occurred most frequently in 44 eyes (40%) after ASA-PRK. The decentration amount was not dependant on factors related to the patient, the surgeon, or the surgery. There was no significant correlation between the amount of decentration and the vertical scale bar of the ActiveTrakTM icon on the screen representing the distance from the pupil center determined by the tracking system, to the surgeon-selected ablation center.

Conclusions: This method of tracking the ablation center, which was selected by the surgeon according to each patient's specific pupil decentration with the active eye tracking system, was highly accurate and effective in avoiding severe decentration in ASA-PRK.

J Korean Ophthalmol Soc 48(9):1177-1188, 2007

Key Words: Ablation center, Advanced surface ablation, Decentration, Eye-tracker, Photorefractive keratectomy

Address reprint requests to **Sang Bumm Lee, M.D., Ph.D.**

Department of Ophthalmology, Yeungnam University College of Medicine

#317-1 Daemyung-dong, Nam-gu, Daegu 705-717, Korea

Tel: 82-53-620-3445, Fax: 82-53-626-5936, E-mail: sbummlee@med.yu.ac.kr