

굴절교정수술을 받은 근시안과 정시안에서 중심부 및 주변부의 굴절력 비교

김정미, 이군자*

울지대학교 안경광학과, 성남 461-713

투고일(2015년 5월 1일), 수정일(2015년 5월 23일), 게재확정일(2015년 5월 29일)

목적: 근시성 굴절교정수술안에서 수평경선에 따른 중심부 및 주변부의 굴절력 변화를 정시안과 비교 평가하고자 하였다. **방법:** 수술안 120 안(평균: 23.56±2.54세, 범위: 20~29세)과 정시안 40 안(평균: 22.50±1.74세, 범위: 20~25세)을 대상으로 개방형 자동굴절력계를 사용하여 중심시야를 기준으로 코 쪽과 귀 쪽의 수평방향 5°, 10°, 15°, 20°, 25°의 굴절력을 각각 측정하였다. 수술안은 수술 전 등가구면 굴절이상에 따라 -6.00 D 미만의 수술안 그룹 1, -6.00 D 이상은 수술안 그룹 2로 분류하여 비교 분석하였다. **결과:** 수술안 그룹 1의 수술 전 등가구면 굴절이상은 -4.56±0.92 D(범위: -2.50 ~ -5.58 D)였고, 수술안 그룹 2는 -7.09±0.96 D(범위: -6.00 ~ -9.00 D)로 나타났다. 정시안의 등가구면 M 평균값의 범위는 -0.20±0.22 D(중심)에서 -0.64±0.83 D(귀 방향 25°)와 -0.20±0.67 D(코 방향 25°); 수술안 그룹 1의 M 평균값의 범위는 -0.16±0.29 D(중심)에서 -5.29 ±1.82 D(귀 방향 25°)와 -4.48±1.88 D(코 방향 25°); 수술안 그룹 2의 M 범위는 -0.20±0.32 D(중심)에서 -7.98±2.08 D(귀 방향 25°)와 -7.90±2.26 D(코 방향 25°)로 나타났고, 세 그룹 사이의 M 굴절력은 중심(p=0.600)과 귀 방향 5°(p=0.647)에서 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 주변부 방향으로 갈수록 M 굴절력은 큰 차이를 보였다(p=0.000). **결론:** 정시안은 망막의 중심부와 주변부에서 상대적으로 일정한 굴절이상을 보였고, 수평경선에서 주변부 근시흐림의 형태가 나타난 반면, 근시 굴절교정수술안에서는 중심부와 주변부 굴절이상이 정시안과는 다르고 중심부와 주변부의 굴절력 차이가 큰 것으로 나타났다.

주제어: 주변부 굴절력, 근시 굴절교정수술, 주변부 근시흐림, 주변부 원시흐림

서 론

오늘날 근시의 발생빈도는 우리나라를 포함한 특정 동아시아 지역에서 약 70%에 이르고 있으며 특히, 고등교육을 받은 집단에서의 근시 발병률은 80% 이상을 넘어서고 있다.^[1-3] 이러한 근시 발생빈도는 유럽이나 아메리카 지역에서 발생하는 근시 발병률의 거의 2배 이상이 되고 있으나, 고도 근시를 포함한 근시의 발생 속도는 지역적 특성에 상관없이 빠르게 증가하고 있는 추세이다.^[4] 근시발생의 원인에 대해서는 여러 가지 관점들이 제시되고 있지만 아직까지도 정확한 이유를 밝혀내지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고, 최근의 근시 발병률의 빠른 증가현상은 변화하고 있는 환경적 요인들이 굴절이상의 현재 패턴에 영향을 미치고 있다고 추정하고 있다.^[5]

최근까지 망막 주변부의 흐림(defocus)이 근시진행에 영향을 줄 수 있다는 가설이 주변부 굴절력에 대한 관심을 증가시켜 왔으며, 선행연구들^[6-9]에 의하면 정시 그리고 근

시와 원시의 굴절이상을 가지는 눈의 주변부 굴절력 패턴이 다르게 나타난다고 보고되었다. 이들의 연구 데이터를 종합하면 정시안과 원시안은 일반적으로 망막의 주변부에서 상대적 근시형태를 나타내고 있으며, 근시안은 상대적 주변부 원시형태를 보이고 있다. 안경이나 콘택트렌즈를 통한 근시의 광학적 교정은 망막의 중심부에 초점이 선명하게 이루어지지만, 주변부로 향할수록 망막 주변부의 영역은 원시성 흐림이 나타나게 되어,^[6,9,10] 논란의 여지는 남아있지만 이러한 현상은 근시의 발달에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.^[11-14] Smith 등^[15]은 동물실험을 통해 주변부 망막에서의 시각적 경험이 눈의 성장과 정시화 과정(emmetropization process)에 영향을 주고 있으며, 주변부 원시성 흐림(hyperopic peripheral defocus)이 눈의 성장을 자극하여 굴절이상의 진행을 발전시키는 반면, 주변부 근시성 흐림(myopic peripheral defocus)은 눈의 성장을 예방하면서 그 결과로 근시진행을 억제할 수 있다고 설명하고 있다. 또한, Charman 등^[16]과 Queiros 등^[17]은 근시안

*Corresponding author: Koon-Ja Lee, TEL: +82-31-740-7182, E-mail: kjl@eulji.ac.kr

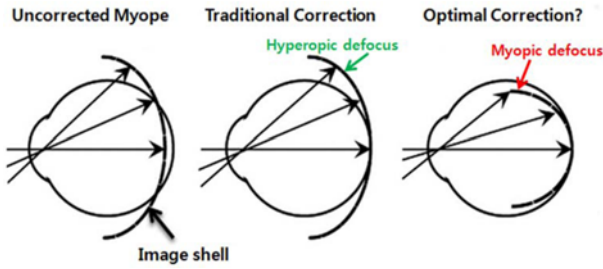


Fig. 1. Schematic diagram showing the optical goals of a potential peripheral treatment strategy to slow the progression of myopia illustrated by Smith EL III.^[18]

에서 각막굴절교정렌즈를 통해 주변부의 굴절력 상태가 상대적인 원시에서 근시형태로 변화된 결과를 보여주었다. Fig. 1은 근시안의 주변부 광학적 치료 방법의 기본적인 목표를 나타내고 있다.^[18] 근시성 각막굴절교정수술의 경우에도 수술 후 변화된 각막의 형태가 각막굴절교정렌즈 착용 후 변화된 각막의 형태와 유사하기 때문에 망막의 주변부 굴절력이 수술 전과 다른 형상으로 나타날 수 있는데, 최근에는 중심부 굴절이상을 교정하는 각막굴절교정수술이 주변부 초점의 패턴을 바꾼다고 보고되었다.^[19-21]

지난 15년 동안 라식 또는 라섹 등의 각막굴절교정이 널리 시술되면서 수술방법의 발전과 함께 더 많은 성인들이 근시와 난시를 포함한 굴절이상을 교정하기 위하여 각막굴절수술을 선택하고 있어 정시화를 목표로 수술한 눈과 정시안 사이의 중심부 및 주변부의 굴절력을 비교하는 것은 망막의 형상을 이해하는데 있어서 의미 있는 일이라 생각한다.

따라서, 본 연구에서는 근시성 각막굴절교정수술(라식 또는 라섹)을 받고 정시상태가 된 수술안의 수평경선에 따른 중심부 및 주변부의 굴절력 변화를 정시안과 비교 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상자 선정

본 연구는 근시성 굴절교정수술(라식 또는 라섹)을 받은 수술안과 정시안을 포함하여 시력에 영향을 줄 수 있는 안과질환 및 전신질환이 없는 건강한 20대를 대상자로 하였다. 두 그룹 모두 나안시력 기준은 단안에서 0.9 이상으로, 구면굴절이상은 -0.50 ~ +0.75 D 또는 원주굴절 이상은 -0.50 D 이하인 대상자로서 수술안의 경우 수술 후 6개월 이상 경과한 근시성 굴절교정수술안 120안과 정시안 40안을 연구 대상으로 정하였다. 또한, 본 연구는 ○○ 대학교 기관생명윤리 위원회(Institutional Review Board,

IRB)의 승인을 받았으며, 연구에 참여한 대상자는 연구의 목적과 검사 내용을 충분히 이해하고 참여에 동의하였다.

2. 검사 방법

나안 시력검사는 밝은 조명 상태에서 대비도가 100%인 ETDRS 시력표를 사용하여 4 m 거리에서 단안으로 측정하였고, ETDRS 시력표의 한 줄에는 5 개의 문자로 구성되어 있어 한 문자씩 0.02 log 단위로 전환한 LogMAR로 시력을 기록하였다.

눈의 중심부 및 주변부 굴절력은 조절마비제를 사용하지 않은 상태로 어두운 조명 (mesopic lighting condition; 1 Lx)에서 개방형 자동굴절력계(Nvision K-5001, Shin-Nippon, Japan)를 사용하여 측정하였다. 한쪽 눈을 측정하는 동안, 다른 쪽 눈은 차폐를 시키고 3 m 거리에 주시 표적인 레이저 포인터를 위치시키고 그 중심 시야를 기준으로 코 쪽과 귀 쪽의 수평방향으로 각각 5°, 10°, 15°, 20°, 25° 이동시켜 주변부 굴절력을 측정(수평방향으로 11 방향 측정: 중심 1 방향, 코 쪽 5 방향, 귀 쪽 5 방향)하였다. 개방형 자동굴절력계의 근거리 시표를 장착하는 위치에 각도기를 부착한 후 레이저 포인터를 사용하여 주어진 각도에 따라서 주시점을 이동시키고 대상자의 머리는 고정된 상태에서 눈동자를 이동시켜 주시점을 인지한 상태에서 측정하였다. 중앙의 주시점 위치는 기기의 광축을 기준으로 동공중심에 마이어상을 정렬시킨 후 중심(center)을 측정하였고, 광축을 벗어난 위치에서는 동공의 중심 수평축에 따라서 마이어상에 기준마크를 정렬시키면서 측정하였다. 주어진 각도에서 주시점의 높이는 대상자의 동공 중심의 수평축 위치에 맞추어 측정하였고, 반대편 눈을 측정할 때도 같은 방법으로 시행하였다. 굴절력 측정값은 10회 이상 측정하여 평균값을 사용하였고 측정된 구면굴절력과 원주굴절력의 결과를 power vector 성분인 M, J₀, J₄₅로 나타내기 위하여 Thibos 등^[22]이 제시한 다음의 공식을 적용하였다.

$$M = Sph + Cyl/2$$

$$J_0 = -Cyl/2 \cdot \cos(2\theta)$$

$$J_{45} = -Cyl/2 \cdot \sin(2\theta)$$

Sph, Cyl, θ는 각각 구면굴절력, 원주굴절력, 원주 축을 의미하며, M 은 등가구면 굴절력, J₀는 수평(0°) 또는 수직(90°)축에서의 난시 성분을 나타내고, J₄₅는 45° 또는 135° 축에서의 난시 성분을 나타낸다.

각막굴절수술안의 경우에는 수술 전 등가구면 굴절이상 -6.00 D를 기준으로 두 그룹인 수술 그룹 1(Group 1: SE < -6.00 D)과 수술 그룹 2(Group 2: SE ≥ -6.00 D)로 세분하여 비교하였다.

3. 통계 분석

통계분석은 Window SPSS Version 18(SPSS, Chicago, IL, USA)과 Origin 6.0 program(OriginLab Co., Northampton, USA)을 사용하였다. 근시성 굴절교정수술안과 정시안의 연속변수 비교에는 독립표본 T 검정(Independent T-test)을 이용하였고, 세 그룹 비교에는 일원배치 분산분석(Oneway ANOVA)과 사후분석(Post-hoc analysis)은 본페로니(Bonferroni) 방법을 이용하였으며, 다항식의 적합성을 보여주는 결정계수를 나타내기 위해 다항식 회귀분석(Polynomial regression)을 시행하였다. 모든 통계분석에서 $p < 0.05$ 일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 대상자의 데이터

근시성 굴절교정수술을 받은 60명(120안)의 수술안과 20명(40안)의 정시안이 본 연구에 참여하였다. 수술안 그룹의 평균 나이는 23.56 ± 2.54 세(범위: 20~29세)였고, 정시안의 평균 나이는 22.50 ± 1.74 세(범위: 20~25세)로 나타났다. 수술안 그룹의 나안시력은 -0.02 ± 0.09 이었고, 정시안은 -0.03 ± 0.08 LogMAR로 두 그룹 사이의 나안시력은 유의한 차이가 없었다($p=0.650$), (Table 1).

굴절교정수술 후의 경과기간은 23.5 ± 16.2 개월(범위: 6~72개월)로 나타났으며, 본 연구에 참여한 근시성 굴절교정을 시행한 수술안에 대한 데이터는 Table 2와 같다.

2. 수술안의 수술 전 굴절이상 굴절력

각각굴절교정 수술안(120안)에서, 수술 전 중심부의 근시와 난시 양은 각각 -4.72 ± 1.36 D(범위: $-2.25 \sim -7.75$ D)와

Table 2. Characteristics of post-refractive surgery group

Characteristics	Post-op group
Number of eyes (N)	120
Gender (M, F)	41% (n=49), 59% (n=71)
Type of surgery (LASIK, LASEK)	34% (n=41), 66% (n=79)
Optical zone (mm) (range)	6.4 ± 0.2^1 (6.0 to 6.7)
Ablation depth (μm) (range)	86.1 ± 20.6 (41 to 139)
Duration of post-op (months) (range)	23.5 ± 16.2 (6 to 72)
Group 1 (< -6.00)	n = 84
Optical zone (mm) (range)	6.4 ± 0.2 (6.0 to 6.7)
Ablation depth (μm) (range)	76.8 ± 15.3 (41 to 104)
Duration of post-op (months) (range)	23.5 ± 14.9 (6 to 58)
Group 2 (≥ -6.00)	n = 36
Optical zone (mm) (range)	6.3 ± 0.2 (6.0 to 6.5)
Ablation depth (μm) (range)	107.8 ± 14.0 (73 to 139)
Duration of post-op (months) (range)	22.4 ± 17.6 (6 to 72)

Post-op, post-refractive surgery group; ¹⁾ Mean±standard deviation

-1.10 ± 0.83 D(범위: $-0.25 \sim -2.50$ D)로 나타났고, 수술 전 중심부 굴절이상 측정값을 power vector 성분인 M, J₀, J₄₅로 분석하였다(Table 3). 수술 전 등가구면 굴절이상 M의 평균값은 -5.32 ± 1.49 D, 직난시와 도난시를 포함하는 난시 성분 J₀의 평균값은 0.55 ± 0.44 D, 사난시를 포함하는 난시 성분 J₄₅의 평균값은 -0.04 ± 0.19 D였다. 수술안 그룹에서 수술 전 굴절이상이 -6.00 D 미만의 그룹 1(84안)의 M의 평균값은 -4.56 ± 0.92 D, J₀의 평균값은 0.46 ± 0.43 D, J₄₅의 평균값은 -0.03 ± 0.16 D이었고, -6.00 D 이상의 그룹 2(36안)의 M의 평균값은 -7.09 ± 0.96 D, J₀의 평균값은

Table 1. Demographics and biometric data of subjects

Parameters	Emmetropes	Post-op group	t	p-value ²⁾
Number of eyes (N)	40	120		
Age (years)	22.50 ± 1.74^1	23.56 ± 2.54	-2.944	0.004*
Gender (M, F)	22, 18	49, 71		
Mean K (D)	42.84 ± 0.93	38.80 ± 1.50	20.118	0.000*
UCDVA (log MAR)	-0.03 ± 0.08	-0.02 ± 0.09	-0.454	0.650
Refractive error(SE) (D)	-0.20 ± 0.22	-0.16 ± 0.23	-0.641	0.523
Corneal thickness (μm)	549.7 ± 30.99	458.3 ± 30.11	13.557	0.000*
Mesopic Pupil size (mm)	6.50 ± 0.55	6.60 ± 0.51	-0.825	0.411
Q-value (6 mm zone)	-0.34 ± 0.12	0.80 ± 0.40	-27.969	0.000*

Post-op, post-refractive surgery group; ¹⁾ Mean±standard deviation; UCDVA, uncorrected distance visual acuity; SE, spherical equivalent; Q-value, corneal asphericity; p-value²⁾ by independent t-test and p-value* < 0.05

Table 3. Preoperative refractive error profiles of post-refractive surgery group

Post-op group	
Pre-op sphere (D) (range)	-4.72 ± 1.36 (-2.25 to -7.75)
Pre-op cylinder (D) (range)	-1.10 ± 0.83 (-0.25 to -2.50)
Pre-op M (D) (range)	-5.32 ± 1.49 (-2.50 to -9.00)
Pre-op J ₀ (D) (range)	0.55 ± 0.44 (-0.25 to 1.74)
Pre-op J ₄₅ (D) (range)	-0.04 ± 0.19 (-0.64 to 0.56)
Group 1 (< -6.00)	70% (n=84)
Pre-op M (D) (range)	-4.56 ± 0.92 (-2.50 to -5.88)
Pre-op J ₀ (D) (range)	0.46 ± 0.43 (-0.29 to 1.44)
Pre-op J ₄₅ (D) (range)	-0.03 ± 0.16 (-0.37 to 0.54)
Group 2 (≥ -6.00)	30% (n=36)
Pre-op M (D) (range)	-7.09 ± 0.96 (-6.00 to -9.00)
Pre-op J ₀ (D) (range)	0.76 ± 0.37 (0.00 to 1.74)
Pre-op J ₄₅ (D) (range)	-0.07 ± 0.24 (-0.64 to 0.56)

M, spherical equivalent; J₀, horizontal astigmatism component; J₄₅, oblique astigmatism component

0.76±0.37 D, J₄₅의 평균값은 -0.07±0.24 D였다(Table 3).

3. 수평경선에 따른 눈의 중심부 및 주변부 굴절력

눈의 중심부 및 주변부 굴절력은 시축을 기준으로 시야 중심에서 코 쪽과 귀 쪽의 수평방향으로 각각 5°, 10°, 15°, 20°, 25° 위치의 굴절력을 측정하였고, 그 이상의 범위 측정은 동공의 크기가 충분하지 않아서 측정에 제한이 있었다.

1) M 굴절력

정시안에서 측정한 등가구면 굴절력 M 평균값의 범위는 시야의 수평방향에 따라 -0.20±0.22 D(중심)에서 -0.64±0.83 D(귀 방향 25°)와 -0.20±0.67 D(코 방향 30°)으로 주변부로 향할수록 근시도가 증가하였고, 귀 방향의 M 굴절력이 코 방향의 M 굴절력보다 높게 나타났다. 수술안 전체그룹의 굴절력 M 평균값 범위는 시야의 수평방향에 따라 -0.17±0.30 D(중심)에서 -6.10±2.26 D(귀 방향 25°)와 -5.51±2.54 D(코 방향 25°)로 중심부와 주변부의 근시성 굴절력의 차이가 크게 나타났고, 주변부로 향하는 귀 방향의 M 굴절력이 코 방향의 M 굴절력보다 높게 나타났다. 정시안과 수술안 사이의 M 굴절력은 중심(p=0.523)과 귀 방향 5°(p=0.340)에서는 통계적인 유의한 차이가 없었으나, 다른 방향에서 측정된 굴절력은 통계적으로 유의한 차이가 있었으며(p=0.000), 주변부로 갈수록 정시안과 수술안의 M 굴절력 차이가 크게 나타났다.

수술안 그룹에서, 수술안 그룹 1의 M 굴절력 평균값의 범위는 -0.16±0.29 D(중심)에서 -5.29±1.82 D(귀 방향 25°)와 -4.48±1.88 D(코 방향 25°)로 나타났고, 수술안 그룹 2의 M 굴절력 평균값의 범위는 -0.20±0.32 D(중심)에서 -7.98±2.08 D(귀 방향 25°)와 -7.90±2.26 D(코 방향 25°)로 주변부로 갈수록 근시도가 증가하였다. 정시안을 포함한 이들 세 그룹 사이에서, M 굴절력은 중심(p=0.600)과 귀 방향 5°(p=0.647)에서는 통계적인 차이가 없었고, 주변부 방향으로 갈수록 측정된 굴절력은 큰 차이를 나타내었다(p=0.000)(Table 4). 세 그룹에서 일원배치 분산분석 후의 사후분석 결과, 수술안의 두 그룹 사이에서도 귀 방향

Table 4. The mean spherical equivalent values (M) as a function of visual field angle for emmetropes and two post-op groups at different eccentricities: Values are expressed in diopters (D)

Field angles (M)	Emmetropes (N = 40)	Post-op group 1 (N = 84)	Post-op group 2 (N = 36)	F	p
T-25	-0.64 ± 0.83 ^a	-5.29 ± 1.82 ^b	-7.98 ± 2.08 ^c	186.189	0.000
T-20	-0.75 ± 0.62 ^a	-3.86 ± 1.97 ^b	-6.27 ± 2.31 ^c	87.742	0.000
T-15	-0.58 ± 0.46 ^a	-1.72 ± 1.29 ^b	-3.11 ± 2.00 ^c	33.186	0.000
T-10	-0.38 ± 0.39 ^a	-0.55 ± 0.74 ^{a,b}	-0.89 ± 1.02 ^b	4.563	0.012
T-5	-0.33 ± 0.32	-0.25 ± 0.47	-0.30 ± 0.53	0.436	0.647
Center	-0.20 ± 0.22	-0.16 ± 0.29	-0.20 ± 0.32	0.513	0.600
N-5	-0.29 ± 0.33 ^a	-0.43 ± 0.43 ^{a,b}	-0.64 ± 0.53 ^b	6.485	0.002
N-10	-0.34 ± 0.42 ^a	-0.91 ± 0.71 ^b	-1.63 ± 1.12 ^c	26.717	0.000
N-15	-0.45 ± 0.56 ^a	-1.84 ± 1.13 ^b	-3.53 ± 1.96 ^c	55.788	0.000
N-20	-0.32 ± 0.59 ^a	-3.35 ± 1.54 ^b	-6.27 ± 2.31 ^c	132.963	0.000
N-25	-0.20 ± 0.67 ^a	-4.48 ± 1.88 ^b	-7.90 ± 2.26 ^c	182.901	0.000

Post-op, post-refractive surgery group; M, spherical equivalent; T, temporal; N, nasal; ^{a, b and c}, the same letters indicate a non-significant difference between groups based on Bonferroni multiple comparison test; p-value by ANOVA test and p-value < 0.05

10°, 귀 방향 5°, 중심, 코 방향 5°을 제외한 나머지 방향에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

본 연구결과 정시안은 상대적으로 중심부와 주변부 굴절이상 이 일정하게 유지되고, 주변부 굴절력은 근시상태를 나타내고 있었는데, 이와 같은 결과는 정시안의 주변부 굴절 이상을 측정 한 선행연구들^[23-25]의 주변부 망막 형상과도 일치하였다. 망막 주변부에서 상대적인 근시 형태를 나타내고 있는 정시안과 상대적인 주변부 원시의 형태를 보이고 있는 근시안의 주변부 굴절력 차이는 여러 선행연구들에서 확인 되어졌다.^[7-10]

M 굴절력을 이차다항식으로 회귀분석한 결과, 정시안은 $y = -0.007x^2 + 0.124x - 0.831$, $R^2 = 0.686$ 이었고, 수술안 그룹 1은 $y = -0.198x^2 + 2.814x - 10.101$, $R^2 = 0.980$ 였고, 수술안 그룹 2는 $y = -0.328x^2 + 4.560x - 16.132$, $R^2 = 0.976$ 로 나타났다(Fig. 2).

2) J₀ 굴절력

시축을 기준으로 측정한 중심부와 시축을 벗어난 주변부에서 직난시와 도난시를 포함하는 난시 성분 J₀ 굴절력의 경우 평균값의 범위는 시야의 수평방향에 따라 0.02±0.14 D(중심)에서 -0.39±0.61 D(귀 방향 25°)와 -0.20±0.26 D(코 방향 25°)로 주변부로 갈수록 난시도가 증가하였으며, 주변부 귀 방향의 J₀ 굴절력은 코 방향의 J₀ 굴절력보다 높게 나타났고, 수술안 전체 그룹의 J₀ 굴절력 평균값의 범위는 0.00±0.15 D(중심)에서 -3.03±1.37 D(귀 방향 25°)와 -2.64±1.16 D(코 방향 25°)로 주변부로 갈수록 귀 방향의 J₀ 굴절력이 코 방향의 J₀ 굴절력보다 높게 나

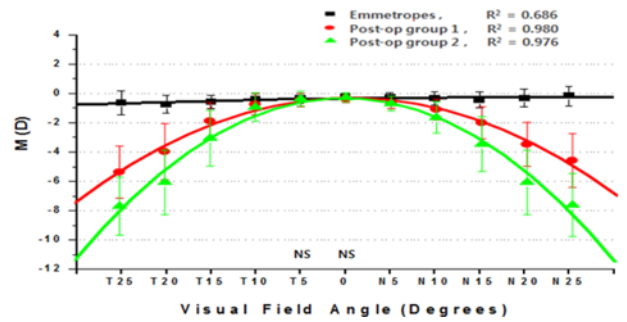


Fig. 2. Central and peripheral refractive error for mean spherical equivalent M as a function of visual field angle in the emmetropes (squares) and two post refractive surgery groups (circles and triangles) for patient eyes with pre-op spherical equivalents of < -6.00 D and ≥ -6.00 D in the temporal (T) and nasal (N) visual fields. Bars represent standard errors of the means. Lines represent the second order polynomial fit for M. NS, non-significant values.

타났다. 정시안과 수술안의 J₀ 굴절력은 중심(p=0.526)에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었고, 주변부 방향으로 갈수록 큰 차이를 보였다(p=0.000). 또한, 정시안과 수술안의 J₀ 굴절력 축을 비교했을 때 정시안의 귀 방향 5°, 중심, 코 방향 5°, 코 방향 10°에서는 J₀ 굴절력이 수평축에 가까운 축을 보인 반면, 수술안은 모든 방향에서 수직축에 가까운 축을 나타내고 있었다.

수술안 그룹 1의 J₀ 굴절력 평균값의 범위는 0.00±0.15 D(중심)에서 -2.84±1.27 D(귀 방향 25°)와 -2.34±1.00 D(코 방향 25°)로 나타났으며, 귀 방향의 J₀ 값이 코 방향의 J₀ 굴절력보다 높게 나타났고, 수술안 그룹 2의 J₀ 굴절력

Table 5. The mean horizontal astigmatism component (J₀) as a function of visual field angle for emmetropes and two post-op groups at different eccentricities: Values are expressed in diopters (D)

Field Angles (J ₀)	Emmetropes (N = 40)	Post-op group 1 (N = 84)	Post-op group 2 (N = 36)	F	p
T-25	-0.39 ± 0.61 ^a	-2.84 ± 1.27 ^b	-3.47 ± 1.52 ^c	75.091	0.000
T-20	-0.42 ± 0.52 ^a	-2.49 ± 1.21 ^b	-3.42 ± 1.31 ^c	76.716	0.000
T-15	-0.24 ± 0.30 ^a	-1.14 ± 0.89 ^b	-1.84 ± 1.04 ^c	36.143	0.000
T-10	-0.09 ± 0.17 ^a	-0.29 ± 0.40 ^b	-0.52 ± 0.46 ^c	12.418	0.000
T-5	0.01 ± 0.14	-0.06 ± 0.22	-0.08 ± 0.19	2.472	0.088
Center	0.02 ± 0.14	0.00 ± 0.15	-0.02 ± 0.16	0.502	0.606
N-5	0.03 ± 0.19 ^a	-0.05 ± 0.20 ^{a,b}	-0.15 ± 0.23 ^b	6.629	0.002
N-10	0.01 ± 0.23 ^a	-0.32 ± 0.35 ^b	-0.60 ± 0.46 ^c	28.058	0.000
N-15	-0.08 ± 0.33 ^a	-0.98 ± 0.64 ^b	-1.79 ± 0.90 ^c	65.514	0.000
N-20	-0.13 ± 0.22 ^a	-1.94 ± 0.75 ^b	-3.03 ± 1.20 ^c	131.714	0.000
N-25	-0.20 ± 0.26 ^a	-2.34 ± 1.00 ^b	-3.34 ± 1.20 ^c	116.913	0.000

Post-op, post-refractive surgery group; J₀, horizontal astigmatism component; T, temporal; N, nasal; ^{a, b and c}, the same letters indicate a non-significant difference between groups based on Bonferroni multiple comparison test; p-value by ANOVA test and p-value < 0.05

평균값의 범위는 -0.02 ± 0.16 D(중심)에서 -3.47 ± 1.52 D(귀 방향 25°)와 -3.34 ± 1.20 D(코 방향 25°)로 주변부로 갈수록 귀 방향 J_0 값이 코 방향의 J_0 굴절력보다 높게 나타났다. 정시안을 포함한 이들 세 그룹에서, J_0 굴절력은 중심($p=0.606$)과 귀 방향 5°($p=0.088$)에서는 통계적인 차이가 없었지만, 주변부 방향으로 갈수록 측정된 굴절력은 큰 차이가 있었다($p=0.000$)(Table 5). 세 그룹의 일원배치 분산분석 및 사후분석 결과, 수술한 두 그룹 사이에서도 귀 방향 5°, 중심부, 코 방향 5°을 제외한 나머지 방향에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

J_0 굴절력을 이차다항식으로 회귀분석한 결과, 정시안은 $y = -0.014x^2 + 0.220x - 0.855$, $R^2 = 0.912$ 였고, 수술안 그룹 1은 $y = -0.114x^2 + 1.639x - 5.890$, $R^2 = 0.954$ 이었고, 수술안 그룹 2는 $y = -0.149x^2 + 2.112x - 7.624$, $R^2 = 0.914$

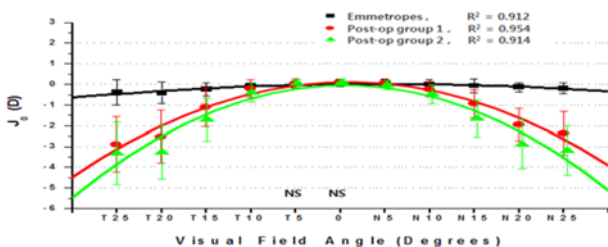


Fig. 3. Central and peripheral refractive error for mean horizontal astigmatism component J_0 as a function of visual field angle in the emmetropes (squares) and two post-op groups (circles and triangles) for patient eyes with pre-op spherical equivalents of < -6.00 D and ≥ -6.00 D in the temporal (T) and nasal (N) visual fields. Lines represent the second order polynomial fit for J_0 . NS, non-significant values.

로 나타났다(Fig. 3).

3) J_{45} 굴절력

사측의 난시 성분을 포함하는 J_{45} 굴절력에서, 정시안의 J_{45} 굴절력 평균값의 범위는 시야의 수평방향에 따라 0.04 ± 0.10 D(중심)에서 -0.07 ± 0.48 D(귀 방향 25°)와 0.00 ± 0.28 D(코 방향 25°)로 나타났고, 수술안의 J_{45} 굴절력 평균값의 범위는 0.05 ± 0.13 D(중심)에서 0.05 ± 0.86 D(귀 방향 25°)와 -0.02 ± 0.74 D(코 방향 25°)로 나타났다. 정시안과 수술안 두 그룹에서 측정된 J_{45} 굴절력은 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

수술안 그룹 1의 J_{45} 굴절력 평균값의 범위는 0.04 ± 0.12 D(중심)에서 0.04 ± 0.70 D(귀 방향 25°)와 -0.01 ± 0.64 D(코 방향 25°)로 나타났고, 수술안 그룹 2의 J_{45} 굴절력 평균값의 범위는 0.07 ± 0.15 D(중심)에서 0.06 ± 0.15 D(귀 방향 25°)와 -0.04 ± 0.94 D(코 방향 25°)로 나타났다. 정시안을 포함한 이들 세 그룹에서 측정된 J_{45} 굴절력은 일정한 선형의 패턴을 유지하고 있었으며, 세 그룹 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 6).

J_{45} 굴절력을 이차다항식으로 회귀분석한 결과, 정시안은 $y = -0.002x^2 + 0.037x - 0.120$, $R^2 = 0.100$ 였고, 수술안 그룹 1은 $y = -0.002x^2 + 0.021x + 0.021$, $R^2 = 0.362$ 였고, 수술안 그룹 2는 $y = -0.004x^2 + 0.033x + 0.055$, $R^2 = 0.735$ 로 나타났다(Fig. 4).

비정시안의 경우 주변부에서 측정된 난시 양은 일반적으로 높게(45°에서 4 D 정도) 측정되는 것으로 알려져 있는데^{19,26)} Seidemann 등¹⁹⁾은 정시안의 주변부 난시 굴절력도

Table 6. The mean oblique astigmatism component (J_{45}) as a function of visual field angle for emmetropes and two post-op groups at different eccentricities: Values are expressed in diopters (D)

Field angles (J_{45})	Emmetropes (N = 40)	Post-op group 1 (N = 84)	Post-op group 2 (N = 36)	F	p
T-25	-0.07 ± 0.48	0.04 ± 0.70	0.06 ± 1.15	0.377	0.687
T-20	-0.03 ± 0.31	0.07 ± 0.74	0.15 ± 0.89	0.636	0.531
T-15	0.00 ± 0.23	0.08 ± 0.52	0.13 ± 0.65	0.598	0.551
T-10	0.01 ± 0.21	0.09 ± 0.34	0.15 ± 0.44	1.947	0.146
T-5	0.02 ± 0.11	0.06 ± 0.20	0.10 ± 0.19	2.303	0.101
Center	0.04 ± 0.10	0.04 ± 0.12	0.07 ± 0.15	0.889	0.413
N-5	0.04 ± 0.12	0.07 ± 0.19	0.09 ± 0.24	0.738	0.480
N-10	0.09 ± 0.20	0.11 ± 0.35	0.07 ± 0.46	0.170	0.844
N-15	-0.20 ± 0.32	-0.09 ± 0.51	-0.10 ± 0.59	0.725	0.486
N-20	0.08 ± 0.29	0.02 ± 0.60	-0.06 ± 0.80	0.564	0.570
N-25	0.00 ± 0.28	-0.01 ± 0.64	-0.04 ± 0.94	0.029	0.971

Post-op, post-refractive surgery group; J_{45} , oblique astigmatism component; T, temporal; N, nasal; p-value by ANOVA test and p-value < 0.05

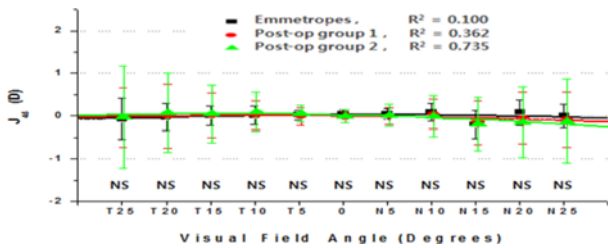


Fig. 4. Central and peripheral refractive error for mean oblique astigmatism component J_{45} as a function of visual field angle in the emmetropes (squares) and two post-op groups (circles and triangles) for patient eyes with pre-op spherical equivalents of < -6.00 D and ≥ -6.00 D in the temporal (T) and nasal (N) visual fields. Bars represent standard errors of the means. Lines represent the second order polynomial fit for J_{45} . NS, non-significant values.

이와 유사한 정도로 측정되었다고 보고하면서, 이러한 주변부의 높은 난시 굴절력이 망막 주변부를 주변부 근시 형태에 기여하고 있는 것으로 설명하였다. 그러나 본 연구에서 정시안의 주변부 J_0 난시 성분 굴절력(-0.39 ± 0.61 D, 귀 방향 25° -0.20 ± 0.26 D, 코 방향 25°)은 Seidemann 등^[9]의 주변부 난시 굴절력과는 큰 차이가 있어 추후 더 넓은 영역의 망막 주변부 측정이 필요하다고 생각된다.

본 연구의 굴절수술안의 J_0 난시 성분은 중심부에서 주변부로 갈수록 굴절력 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 각막굴절수술안의 주변부 굴절력 J_0 는 수술 전 굴절이상 또는 비정시안의 굴절력과 비교하여 수술안의 주변부 굴절력 J_0 가 더 크게 나타났다고 보고한 선행연구^[19,21]의 결과와 비슷한 패턴을 보이고 있는데, 이와 같은 결과는 수술안의 경우 레이저를 이용한 각막 절삭과정이 각막의 중심부는 J_0 난시 성분의 굴절이상을 교정하지만 나머지 영역에서는 굴절이상의 교정과 함께 새로운 J_0 굴절이상을 발생시키는 것으로 생각되며 특히, 광학부에서 이행부로 전환되는 영역에서는 새로운 J_0 굴절이상의 양이 더 증가하는 것으로 생각된다.

Queiros 등^[21]은 굴절수술 전·후의 중심부와 주변부 굴절력을 비교하여 근시성 굴절교정수술 후 주변부보다 중심부에서 많은 변화가 있음을 보고하였는데, 이것은 수술 후 광학부 영역의 중심부는 굴절이상이 교정되고 수평경선에 따른 망막의 주변부는 수술 전의 굴절이상이 감소된 근시상태가 되었다는 것을 의미한다. 정시안과 근시안의 수술 후의 굴절상태를 비교한 본 연구에서도 수술 후 망막에 초점 맺히는 형상은 정시안과 비교하여 중심주변부(paracentral area)로 갈수록 큰 차이가 나타났다. 다시 말해서, 각막절삭이 이루어진 영역(optic zone) 안의 굴절이상은 교정되어 정시안과 통계적으로 유의한 차이가 없거나 적은 반면, 주변부로 갈수록 수술안의 중

심부 굴절력이나 정시안의 중심부 굴절력과 비교해 상당한 양의 근시성 굴절력이 나타났다. 이와 같은 결과는 Ma 등^[19]과 Queiros 등^[20]의 연구결과와 일치하고 있으며, 중심주변부와 주변부에 남겨진 상대적인 근시도는 수술 전 굴절이상도와 상당한 관련이 있는 것으로 생각된다. 본 연구에서 수술 전 등가구면 굴절이상 -6.00 D을 기준으로 수술안을 분류하였을 때, -6.00 D 이상인 수술안 그룹 2에서 중심주변부와 주변부에 남겨진 근시도는 -6.00 D 미만의 수술안 그룹 1 보다 높게 나타났고, 수술안 그룹 2에서는 귀 방향과 코 방향 모두 25° 를 지나면서 근시도가 감소하여 상대적인 주변부 원시로 나타나고 있었다. 이와 같은 연구결과는 수술 전 약도나 경도 근시보다 고도 근시안에서 수술 후 근시퇴행이 더 진행될 수도 있음을 시사하고 있다. 근시성 각막굴절수술 후의 주변부 굴절력을 수술하지 않은 근시안과 정시안으로 비교 분석한 Ma 등^[19]은 근시성 굴절수술안의 경우 중심부 시야 범위가 40° (중심기준으로 20°)를 벗어나면 수술 전 굴절이상보다 근시양이 더 증가하며, 주변부의 증가된 굴절력은 굴절이상 정도에 따라서 주변부의 시각적 업무에 역효과를 줄 수도 있다고 보고하였다.

역기하렌즈를 이용한 각막굴절교정술이 근시진행을 억제할 수 있는 방법으로 관심을 받게 되고,^[27,28] 각막굴절교정 시술 후 각막 형태가 역기하렌즈 착용 후와 유사하기 때문에 각막굴절수술 후의 시력의 질이 광학적 결함이 있다고 하더라도,^[29,30] 근시진행의 예방에 유용하다고 보고되었다.^[20,21] 하지만, 역기하렌즈를 이용한 각막굴절교정 원리는 각막상피 조직을 중심주변부로 재배치 시키기 때문에 각막의 중심주변부 굴절력이 상당히 증가하는 반면, 굴절교정수술은 넓은 중심부의 각막조직을 절삭하고 매끄러운 이행부를 만들어 내어 상대적으로 낮은 주변부 근시 굴절력이 형성된다. 그 결과로 역기하렌즈를 이용한 각막굴절교정 후의 각막표면의 가파른 정도는 굴절교정수술 후의 각막표면보다 더 강하게 나타나^[20] 망막 주변부에서 초점이 맺히는 패턴도 서로 다르게 나타날 수 있으므로 근시진행을 억제하는 역할도 다를 수 있다고 생각된다.

본 연구결과가 망막 주변부에서 근시흐림(defocus)이 근시진행을 지연시킬 수 있다는 가설을 지지 하더라도 굴절교정수술안의 변화된 망막주변부의 근시흐림의 패턴이나 근시량이 정시안과 상당히 다르기 때문에 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료되며 각막 형태와 망막 형상의 변화가 시기능에 미치는 영향에도 주목할 필요가 있다고 생각된다.

결론

정시안은 수평경선에 따라서 상대적으로 일정한 굴절이

상 특징을 보였고, 주변부 굴절력은 근시가 증가하는 형태로 나타났다. 수술안 그룹에서는 근시성 굴절교정수술에 의하여 중심부와 주변부의 굴절이상도가 변화되어 망막에서 초점이 맺히는 형태가 달라진 것을 확인하였고, 주변부 굴절력은 수술 전 굴절이상과 관련이 있었다.

근시성 굴절교정수술이 각막의 중심부를 통해서 굴절 이상이 교정되어 망막의 중심 굴절력은 정시안과 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 다른 방향에서 측정된 굴절력은 정시안의 근시도와 차이가 크게 나타났다.

REFERENCES

- [1] Jorge J, Almeida JB, Parafita MA. Refractive, biometric and topographic changes among Portuguese university science students: a 3-year longitudinal study. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2007;27(3):287-294.
- [2] Lin LL, Shih YF, Hsiao CK, Chen CJ. Prevalence of myopia in Taiwanese schoolchildren: 1983 to 2000. *Ann Acad Med Singapore.* 2004;33(1):27-33.
- [3] Woo WW, Lim KA, Yang H, Lim XY, Liew F, Lee YS, et al. Refractive errors in medical students in Singapore. *Singapore Med J.* 2004;45(10):470-474.
- [4] Vitale S, Sperduto RD, Ferris FL 3rd. Increased prevalence of myopia in the United States between 1971-1972 and 1999-2004. *Arch Ophthalmol.* 2009;127(12):1632-1639.
- [5] Morgan I, Rose K. How genetic is school myopia?. *Prog Retin Eye Res.* 2005;24(1):1-38.
- [6] Atchison DA, Pritchard N, White SD, Griffiths AM. Influence of age on peripheral refraction. *Vision Res.* 2005;45(6):715-720.
- [7] Love J, Gilmartin B, Dunne MCM. Relative peripheral refractive error in adult myopia and emmetropia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2000;41(4):S302.
- [8] Mutti DO, Sholtz RI, Friedman NE, Zadnik K. Peripheral refraction and ocular shape in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2000;41(5):1022-1030.
- [9] Seidemann A, Schaeffel F, Guirao A, Lopez-Gil N, Artal P. Peripheral refractive errors in myopic, emmetropic, and hyperopic young subjects. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2002;19(12):2363-2373.
- [10] Millodot M. Effect of ametropia on peripheral refraction. *Am J Optom Physiol Opt.* 1981;58(9):691-695.
- [11] Liu Y, Wildsoet C. The effect of two-zone concentric bifocal spectacle lenses on refractive error development and eye growth in young chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(2):1078-1086.
- [12] Mutti DO, Hayes JR, Mitchell GL, Jones LA, Moeschberger ML, Cotter SA, et al. Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48(6):2510-2519.
- [13] Schmid GF. Association between retinal steepness and central myopic shift in children. *Optom Vis Sci.* 2011;88(6):684-690.
- [14] Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J. Relative peripheral hyperopic defocus alters central refractive development in infant monkeys. *Vision Res.* 2009;49(19):2386-2392.
- [15] Smith EL 3rd, Kee CS, Ramamirtham R, Qiao-Grider Y, Hung LF. Peripheral vision can influence eye growth and refractive development in infant monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46(11):3965-3972.
- [16] Charman WN, Mountford J, Atchison DA, Markwell EL. Peripheral refraction in orthokeratology patients. *Optom Vis Sci.* 2006;83(9):641-648.
- [17] Queiros A, Gonzalez-Meijome JM, Jorge J, Villa-Collar C, Gutierrez AR. Peripheral refraction in myopic patients after orthokeratology. *Optom Vis Sci.* 2010;87(5):323-329.
- [18] Smith EL 3rd. The Charles F. Prentice award lecture 2010: A case for peripheral optical treatment strategies for myopia. *Optom Vis Sci.* 2011;88(9):1029-1044.
- [19] Ma L, Atchison DA, Charman WN. Off-axis refraction and aberrations following conventional laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31(3):489-498.
- [20] Queiros A, Gonzalez-Meijome JM, Villa-Collar C, Gutierrez AR, Jorge J. Local steepening in peripheral corneal curvature after corneal refractive therapy and LASIK. *Optom Vis Sci.* 2010;87(6):432-439.
- [21] Queiros A, Villa-Collar C, Jorge J, Gutierrez AR, Gonzalez-Meijome JM. Peripheral refraction in myopic eyes after LASIK surgery. *Optom Vis Sci.* 2012;89(7):977-983.
- [22] Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci.* 1997;74(6):367-375.
- [23] Stone RA, Flitcroft DI. Ocular shape and myopia. *Ann Acad Med Singapore.* 2004;33(1):7-15.
- [24] Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL. Peripheral refraction along the horizontal and vertical visual fields in myopia. *Vision Res.* 2006;46(8-9):1450-1458.
- [25] Hong SM. Measurements of central and peripheral axial length and refractive error. MA Thesis. Eulji University, Sungnam. 2012;30-33.
- [26] Williams DR, Artal P, Navarro R, McMaho MJ, Brainard DH. Off-axis optical quality and retinal sampling in the human eye. *Vision Res.* 1996;36(8):1103-1114.
- [27] Cho P, Cheung SW, Edwards M. The longitudinal orthokeratology research in children(LORIC) in Hong Kong: a pilot study on refractive changes and myopic control. *Curr Eye Res.* 2005;30(1):71-80.
- [28] Walline JJ, Jones LA, Sinnott LT. Corneal reshaping and myopia progression. *Br J Ophthalmol.* 2009;93(9):1181-1185.
- [29] Anera RG, Villa C, Jimenez JR, Gutierrez R. Effect of LASIK and contact lens corneal refractive therapy on higher order aberrations and contrast sensitivity function.

J Refract Surg. 2009;25(3):277-284.
 [30] Kohnen T, Mahmoud K, Bühren J. Comparison of corneal

higher-order aberrations induced by myopic and hyperopic LASIK. Ophthalmology. 2005;112(10):1692.

Comparison of Central and Peripheral Refraction in Myopic Eyes after Corneal Refractive Surgery and Emmetropes

Jeong-Mee Kim and Koon-Ja Lee*

Dept. of Optometry, Eulji University, Sungnam 461-713, Korea
 (Received May 1, 2015; Revised May 23, 2015; Accepted May 29, 2015)

Purpose: To evaluate changes in central and peripheral refraction along the horizontal visual fields in myopic corneal refractive surgery group compared with emmetropes. **Methods:** One hundred twenty eyes of 60 subjects (23.56±2.54 years, range: 20 to 29) who underwent myopic refractive surgery and 40 eyes of 20 emmetropes (22.50±1.74 years, range: 20 to 25) were enrolled. The central and peripheral refractions were measured along the horizontal meridian at 5°, 10°, 15°, 20°, 25° in the nasal and temporal areas using an open-field autorefractor. For analysis of post-op group, the group was classified by pre-op spherical equivalents of < -6.00 D and ≥ -6.00 D as two post-op groups. **Results:** Pre-op spherical equivalent was -4.56±0.92 D (range: -2.50 to -5.58 D) in post-op group 1, and -7.09±0.96 D (range: -6.00 to -9.00 D) in post-op group 2. Spherical equivalent (M) in the emmetropes ranged from -0.20±0.22 D at center to -0.64±0.83 D at 25° in the temporal visual field and to -0.20±0.67 D at 25° in the nasal visual field; M in post-op group 1 ranged from -0.16±0.29 D at center to -5.29±1.82 D at 25° in the temporal visual field and to -4.48±1.88 D at 25° in the nasal visual field; M in post-op group 2 ranged from -0.20±0.32 D at center to -7.98±2.08 D at 25° in the temporal visual field and to -7.90±2.26 D at 25° in the nasal visual field. Among the three groups, there was no significant difference in M at central visual field (p=0.600) and at 5° in the temporal visual field (p=0.647), whereas, there was significant difference in M at paracentral and peripheral visual field (p=0.000). **Conclusions:** Emmetropes had relatively constant refractive errors throughout the central and peripheral visual field and showed myopic peripheral defocus along the horizontal visual field. On the other hand, in myopic corneal refractive surgery group, there were significant differences in refractive errors between the central and peripheral visual field compared with differences in the central and peripheral refraction patterns of emmetropes.

Key words: Peripheral refraction, Myopic corneal refractive surgery, Myopic peripheral defocus, Hyperopic peripheral defocus