

Comparison of Tear Distributions by the Corneal Eccentricity when Fitted with Spherical and Aspherical RGP Lenses

Jihye Kim, So Ra Kim, and Mijung Park*

Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea

(Received May 1, 2016; Revised May 26, 2016; Accepted June 9, 2016)

Purpose: The present study was aimed to compare the tear volume and distribution by corneal eccentricity when fitted with spherical and aspherical RGP lenses. **Methods:** Spherical and aspherical RGP lenses were fitted in best alignment on a total of 77 subjects (136 eyes) in their twenties and thirties without any ocular disease or ocular surgery experience. The tear volume was analyzed by estimating the concentration of tear stained with fluorescein in the center of RGP lens as well as at the mid-peripheral and peripheral areas, and the difference of tear distributions was analyzed according to corneal eccentricity. **Results:** Tear distribution from the center to the peripheral area was not significantly different when spherical RGP lenses were fitted on the corneal eccentricities of $e < 0.38$ and $0.68 \leq e$, indicating the relatively even tear distribution compared with other corneal eccentricity. In the case of aspherical RGP lenses, the difference of tear distribution between the central and peripheral areas was smaller than spherical RGP lenses. The significant difference of tear distribution according to RGP lens design was observed in the corneal eccentricity of $0.48 < e < 0.68$. In other words, more even tear distribution was shown when aspherical RGP lenses were fitted on the cornea with eccentricity of $0.48 \leq e < 0.68$ and spherical RGP lenses were fitted on the cornea with eccentricity $0.68 \leq e$. Furthermore, tear volume in the mid-peripheral area increased with higher corneal eccentricity. **Conclusions:** The results suggest that the appropriate selection of RGP lens design according to corneal eccentricity is necessary since tear volume and distribution by the regions of spherical and aspherical lenses are affected by corneal eccentricity.

Key words: Corneal eccentricity, Tear volume, Tear distribution, RGP lens fitting, RGP lens design

서 론

사람 각막의 전면부 형태는 비구면의 형상이다.^[1-3] David 등^[4]의 연구에서는 정상적인 각막전면의 형태는 중심부는 가파르고 주변부로 갈수록 편평해지는 prolate ellipsoid(편장형 타원면)의 형태라고 하였다. 중심부에서 주변부로 갈수록 가파르게 변하는 oblate ellipsoid(편구면 타원형)의 형태를 가지는 각막도 존재하지만^[2,5] 평균 각막의 형태는 prolate ellipsoid 형태이다.^[4] 각막은 개인마다 조금씩 다른 형상을 가지며, 각막의 비구면 형상은 각막 이심률(corneal eccentricity), 각막의 비구면 계수(corneal asphericity), 형상 계수(shape factor)로 나타낼 수 있는데 이 세 요소는 각막 이심률로부터 구할 수 있다. 즉, 비구면 계수는 $Q = -e^2$ 로 나타내고 형상계수는 $p = 1 - e^2$ 로 나타내는데 prolate 형상은 $-1 < Q < 0$, oblate 형상은 $0 < Q < 1$ 의 수치를 가진다.^[6] 평균 각막 비구면 계수는

$-0.15 \sim -0.48$ 로 보고되었고 이심률로 환산하였을 경우 $0.39 \sim 0.69$ 로 보고되었다.^[2,5-9]

각막에 직접적으로 닿아 비정시안을 교정하는 방법인 콘택트렌즈는 실제 접촉되는 콘택트렌즈의 부분과 각막 전면부가 일치하여야 알맞은 상태로 교정될 수 있다. Bier 등^[10]의 연구진들에 의해 1950년대 초반에 각막의 구조가 단순한 구면이 아닌 것을 알게 된 이후 이중커브 디자인이 도입되었고 후에 플랫한 커브가 하나 더 추가된 삼중 커브가 개발되며 지속적인 렌즈 디자인의 발전이 이루어졌다.^[11] 비구면 렌즈는 크게 완전 비구면, 주 비구면/부분 구면, 주 구면/부분 비구면 렌즈로 분류되는데 완전 비구면 렌즈의 경우 렌즈의 이심률값이 각막 지형에 너무 일치할 경우에는 렌즈의 가장자리가 주변부 각막을 누르게 되므로 렌즈의 가장자리에 좁은 구형 베벨이나 분리된 비구면 가장자리를 첨가하여 이러한 문제점을 해결한다.^[12] 각막의 형상을 고려하여 RGP렌즈의 디자인이 개발되어

*Corresponding author: Mijung Park, TEL: +82-2-970-6228, E-mail: mjpark@seoultech.ac.kr

본 논문의 일부내용은 2013년도 아시아태평양광안학술대회에서 포스터로 발표되었음.

저 왔고 RGP렌즈의 양호한 피팅과 관련된 다수의 연구에서 각막 형상과 렌즈 디자인에 따라서 RGP렌즈 피팅 시 중심안정위치, 움직임 및 눈물분포의 차이가 있다는 연구 결과가 발표되었다.^[13-17] 각막 이심률과 RGP렌즈의 중심안정위치의 상관관계를 분석한 연구결과에서도 각막 이심률이 커질수록 귀쪽에서 코쪽방향으로 렌즈의 중심안정위치가 변화한다고 보고되어 각막 이심률에 따라 RGP렌즈 피팅상태에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.^[18] 기존 연구결과를 통해 RGP렌즈 피팅과 각막 이심률 사이에는 밀접한 연관이 있는 것이 밝혀졌지만 현재 RGP렌즈의 피팅은 제조회사의 각막 난시도만을 기준으로 된 가이드라인으로 이루어지고 있다.^[19]

제조회사마다 제조되는 RGP렌즈의 디자인에 따른 차이가 존재하며 여러 제조사에서 다양한 이심률을 가진 RGP렌즈들이 제조되고 있으나, 한 제조사의 한 RGP 렌즈를 선택하게 되는 경우 개개인의 각막 곡률에 맞춤형으로 제공되는 것이 아니라 일정한 렌즈 이심률을 가진 렌즈를 다양한 각막 이심률을 가진 눈에 착용하게 되어 RGP렌즈의 이심률과 각막의 이심률이 일치하는 경우가 드물게 발생할 수 밖에 없다. 즉, 착용자마다의 각막 이심률이 다르기 때문에 RGP 렌즈 피팅의 기본인 각막과 콘택트렌즈 후면과의 일치 구면렌즈 뿐만 아니라 단일 이심률을 가진 비구면렌즈에서도 기대하기 힘들 수 있다. RGP렌즈 피팅은 각막의 변수들과 시험렌즈가 적합해야 가능하게 되는데 예를 들어 잘못된 굴절 데이터나 불규칙한 각막의 경우 시험 렌즈 피팅은 처음 선택한 렌즈에 의해 양호한 피팅 상태가 될 수도 있지만 잘못된 굴절 데이터나 불규칙한 각막의 경우 시험 렌즈 피팅을 통해서만 양호한 피팅 상태를 결정할 수 있기 때문에 각막의 변수들과 시험렌즈가 적합해야 가능하다.^[19]

이처럼 RGP렌즈 피팅 시 각막의 변수와 이심률에 맞는 RGP렌즈의 피팅은 각막에 적합한 양호한 상태의 피팅을 위해 고려해야 할 요인이 되며 각막 이심률에 가까운 디자인의 RGP렌즈를 선택하는 것 또한 양호한 피팅 상태를 결정하는데 도움이 된다. 따라서 본 연구에서는 같은 제조회사의 구면 및 비구면 RGP렌즈를 정적 및 동적 피팅 상태가 가장 양호하도록 피팅하였을 때 각막과 RGP 렌즈사이의 간극이 각막의 이심률에 따라서 어떻게 달라지는지를 각막과 렌즈 사이의 눈물양 및 눈물분포 분석을 통해 알아보았다. 이를 통해 각막 이심률에 따라 더 고른 눈물분포를 나타내는 RGP렌즈의 디자인을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

각막지형도 검사기(Corneal topographer CT-1000, Shin-

Table 1. Distribution of the subjects' corneal eccentricity

Group	Corneal eccentricity (mean±SD)	No. of eye	Ratio (%)
$e < 0.38$	0.35 ± 0.03	19	14.0
$0.38 \leq e < 0.48$	0.43 ± 0.03	22	16.2
$0.48 \leq e < 0.58$	0.53 ± 0.03	38	27.9
$0.58 \leq e < 0.68$	0.62 ± 0.03	38	27.9
$0.68 \leq e$	0.74 ± 0.05	19	14.0
Total	0.54 ± 0.13	136	100.0

nippon Commerce, Japan)를 이용하여 안질환 및 안과적 수술경험이 없는 20~30대 211명을 대상으로 각막 이심률을 측정하였고 RGP렌즈 피팅을 위한 각막 곡률반경은 각막곡률반경측정기(Keratometer SO-21, Shin-nippon, Japan)를 이용하여 측정하였다.

이심률의 경우 211명을 대상으로 측정된 각막 이심률의 평균 이심률인 0.53을 기준으로 0.1범위로 나누어 이심률을 5범위로 분류하였다(Table 1). 이들 중 직난시안을 대상으로 RGP렌즈 착용에 이상이 없고 실험에 동의한 남자 44명(78안, 25.6 ± 2.9 세), 여자 33명(58안, 24.7 ± 2.6 세)을 대상으로 하였다.

2. 방법

각막지형도 검사기를 이용하여 각막 지형을 3회씩 반복 측정하였고, 이심률은 3회 평균값을 사용하였다. 실험에 사용된 렌즈는 구면(Air, 시선, Korea) 및 사중커브 디자인 비구면(CORNEA 2, 시선, Korea) 렌즈이고(Table 2), RGP렌즈의 베이스커브를 선택하기 위한 각막의 베이스커브와 각막 난시도는 각막곡률계(SO-21, Shin-nippon, Japan)를 이용하여 3회씩 측정하여 측정된 값들의 평균 수치를 사용하였다. 구면 및 비구면 RGP렌즈 피팅은 각막 난시도

Table 2. Specifications of trial lenses

Specifications	Spherical RGP lens	Aspherical RGP lens
Brand name	AIR(blue)	CORNEA 2(blue)
Over all diameter(mm)	9.3	9.9
Optic zone(mm)	7.5	7.0
Base curve(mm)	7.30 ~ 8.40 (0.05)	7.30 ~ 8.40 (0.05)
Central thickness(mm)	0.15	0.15
Back vertex power(D)	-3.00	-3.00
Material	Silicone acrylate	Silicone acrylate
Dk	50	75

Table 3. Fitting guideline of base curve selection by the manufacturer

Astigmatism(D)	Base curve	
	Spherical RGP lens	Aspherical RGP lens
0.00 ~ 1.00	0.15 mm flatter	0.10 mm flatter
1.25 ~ 2.00	0.10 mm flatter	0.05 mm flatter
2.25	0.05 mm flatter	On K
2.50 ~ 3.00	On K	0.05 mm steeper
3.25	0.05 mm steeper	0.05 mm steeper

와 각막 곡률을 이용하여 제시된 제조사의 가이드라인을 기준으로 하였다(Table 3). 정적 및 동적 피팅 상태를 평가하기 위해 플루레신 종이(Fluorescein paper strips, HAAG-STREIT AG, Switzerland)를 이용하여 각막과 렌즈사이의 눈물을 염색시킨 후 세극등 현미경(SL-7F, Topcon, Japan)의 코발트 블루 조명하에 평가하였다. 베이스커브를 ± 0.05 mm 단위로 조정하여 정적 및 동적 피팅상태를 평가하여 가장 양호한 상태의 피팅이 되도록 하였다. 이후 세극등 현미경에 장착된 카메라(Nikon D200, Nikon Corporation, Japan)로 가장 양호한 피팅상태의 사진을 촬영하여 각막과 렌즈 사이의 눈물양을 분석하였다.

1) RGP렌즈와 각막 사이 눈물양 분석

직경이 다른 구면 및 비구면 RGP렌즈의 같은 부분의 눈물양을 분석하기 위해 착용한 RGP렌즈와 각막 사이의 플루레신 염색 부위를 크게 세 부분(① 중심부: 반경 0~1.5 mm, ② 중간주변부: 반경 1.5~3.5 mm, ③ 가장자리부터 중심부 방향으로 1.2 mm 너비)으로 나누어 눈물양을 비교 분석하였다(Fig. 1).^[17]

플루레신으로 염색된 눈물 부분의 분석을 위하여 세극등 현미경으로 촬영된 사진을 Photoshop software(Adobe photoshop 7.0.1, Adobe Systems Incorporated, United States)를 이용하여 렌즈 사이즈에 맞춰 렌즈 부분을 자른 후 회색 음영으로 변환시켰다. 변환시킨 사진의 플루레신으로 염색된 중심부, 중간주변부, 주변부의 눈물농도는 농도 분석이 가능한 Quantity One software(Quantity One 4.6.3,

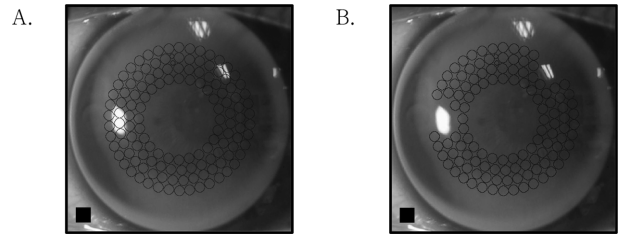


Fig. 2. The removal area for accurate analysis. A. before B. after

Bio-Rad)를 이용하여 구면 및 비구면 RGP렌즈와 각막 사이의 눈물양을 분석하였다(Fig. 1).^[17]

또한 정확한 눈물 부분을 분석하기 위하여 양호한 피팅 상태의 사진 5장을 렌즈에 맺힌 반사상과 속눈썹 부분의 영역을 제외하고 플루레신이 염색된 부분의 평균 농도를 분석하였다(Fig. 2). 각 사진별 밝기 차이를 보정하기 위해 홍채의 가장 어두운 부분의 농도를 기준으로 중심부, 중간주변부, 주변부 영역의 상대비를 구하고 다시 주변부를 기준으로 하여 중심부와 중간주변부의 상대비를 구하였다. 따라서 모든 사진의 주변부 농도를 100%로 하여 주변부에 대한 중심부와 중간주변부의 농도를 구하였고 농도가 높을수록 눈물양이 많은 것으로 분석하였다.^[17]

2) RGP렌즈의 sag 깊이(sagittal depth) 실측

수평한 상태의 구면 및 비구면 RGP렌즈를 실측이 가능한 자 위에 올려 놓고 세극등 현미경 카메라를 이용하여 촬영한 후 Photoshop software로 실제 sag 깊이를 구하였다. 렌즈 정점 반경 0.5 mm 단위로 측정하여 가장자리 부분까지의 sag 깊이를 구하였다(Fig. 3). 구면 및 비구면 RGP렌즈의 베이스커브가 7.30~8.40 mm로 제공되어 베이스커브 7.30 mm와 8.40 mm의 sag 깊이를 측정하여 두 렌즈 사이의 베이스커브 sag 깊이를 구하였다.

3) 통계처리

모든 통계분석은 SPSS 12.0KO for Windows를 이용하여 동일한 디자인의 RGP렌즈에서 이심률에 따른 부분별 눈물양 차이는 One-way ANOVA를 실시하였고, Tukey HSD의 방법으로 사후검정을 실시하였다. 착용한 RGP렌

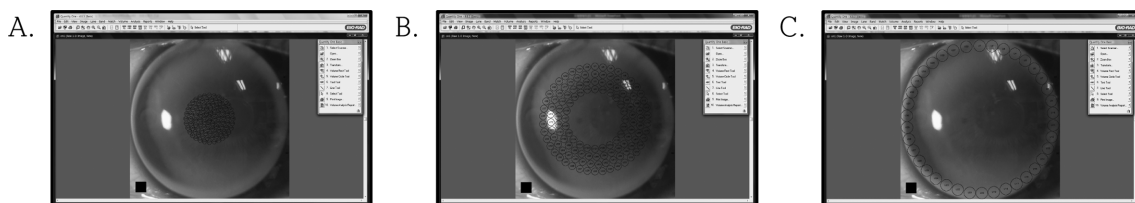


Fig. 1. Analysis of tear volume by Quantity One Software. A. center, B. mid-center, C. peripheral

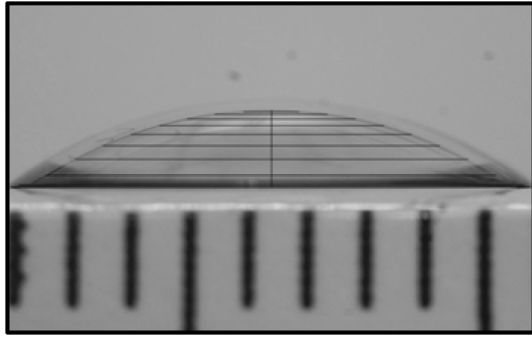


Fig. 3. Measurement of the sagittal depth of RGP lens.

즈의 디자인에 따른 부분별 눈물분포의 차이는 대응표본 검정을 통한 Paired t-test를 실시하였고 이심률 변화에 따른 부분별 눈물양의 변화는 단순선형회귀분석(simple regression analysis)을 통해 상관성을 분석하였다. 모든 검정은 유의확률 0.05미만일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 보았다.

결과 및 고찰

1. 구면 RGP렌즈 피팅 시 이심률별 눈물분포

구면 RGP렌즈 피팅 시 가장 낮은 이심률 범위인 $e < 0.38$ 의 중심부 상대눈물양은 91.7%이었고 중간주변부의 상대눈물양은 89.9%로 나타났다. 주변부 눈물양 100%와 비교했을 때, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 이심률 0.38 미만 범위의 각막에서는 구면 RGP렌즈 피팅 시 각막 부분별 눈물분포 정도의 차이가 크지 않았다(Fig. 4A,

Table 4). 이심률 범위 $0.38 \leq e < 0.48$ 각막에서는 주변부 눈물양을 기준으로 중심부 81.8%, 중간주변부 82.9%로 나타났고, $0.48 \leq e < 0.58$ 범위 각막에서는 중심부 82.8%, 중간주변부 84.6%로 나타났다. 마찬가지로 이심률 $0.58 \leq e < 0.68$ 범위의 각막에서도 주변부 눈물양을 기준으로 중심부 눈물양이 85.4%, 중간주변부 눈물양이 89.7%로 나타나 이심률 범위 $0.38 \leq e < 0.68$ 범위의 각막에서는 중심부에서 주변부로 갈수록 눈물양이 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 4B, 4C, 4D). 각 부분별 눈물분포의 차이도 유의확률 0.00으로 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 4). 사후 검정 결과 중심부와 중간주변부의 눈물양은 차이가 없는 것으로 나타났지만 중심부와 주변부는 통계적으로 유의한 차이를 보여 동공 중심부에서 중간주변부까지의 눈물분포 정도는 고르지만 주변부로 갈수록 눈물양의 차이가 커지는 것을 알 수 있었다(Table 4). 가장 높은 이심률 범위인 $0.68 \leq e$ 범위에서는 중심부 90.7%, 중간주변부 95.6%, 주변부 100%로 중심부에서 주변부로 갈수록 눈물양 차이가 증가하는 것으로 나타났지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 RGP렌즈의 각 부분별로 눈물분포 정도에 차이가 없어 중심부에서 주변부까지 눈물이 고르게 분포하는 것을 알 수 있었다(Fig. 4E, Table 4).

구면 RGP렌즈 피팅 시 이심률 $e < 0.38$ 범위의 각막과 이심률 $0.68 \leq e$ 범위의 각막은 중심부부터 주변부까지 눈물양의 차이가 없이 고르게 분포하는 것으로 나타난 반면, 이심률 $0.38 \leq e < 0.68$ 의 범위에서는 주변부의 상대적으로 많은 눈물양으로 인해 눈물이 고르게 분포하지 않았다. 이심률 $e < 0.38$ 범위의 각막의 경우 구형에 가까운 각막이

Table 4. Statistical analysis of relative tear volume by corneal eccentricity

Lens design	Group	One-way ANOVA test	P-value		
			Post hoc test		
			Center vs mid-center	Center vs peripheral	Mid-center vs peripheral
Spherical	$e < 0.38$	0.11	0.92	0.24	0.12
	$0.38 \leq e < 0.48$	0.00*	0.81	0.00*	0.00*
	$0.48 \leq e < 0.58$	0.00*	0.70	0.00*	0.00*
	$0.58 \leq e < 0.68$	0.00*	0.21	0.00*	0.00*
	$0.68 \leq e$	0.06	0.39	0.04	0.49
Aspherical	$e < 0.38$	0.49	0.97	0.65	0.49
	$0.38 \leq e < 0.48$	0.00*	0.99	0.00*	0.00*
	$0.48 \leq e < 0.58$	0.00*	0.95	0.00*	0.00*
	$0.58 \leq e < 0.68$	0.08	0.51	0.06	0.48
	$0.68 \leq e$	0.55	0.57	0.99	0.66

*Significantly different from each group compared by one-way ANOVA test, $p < 0.05$

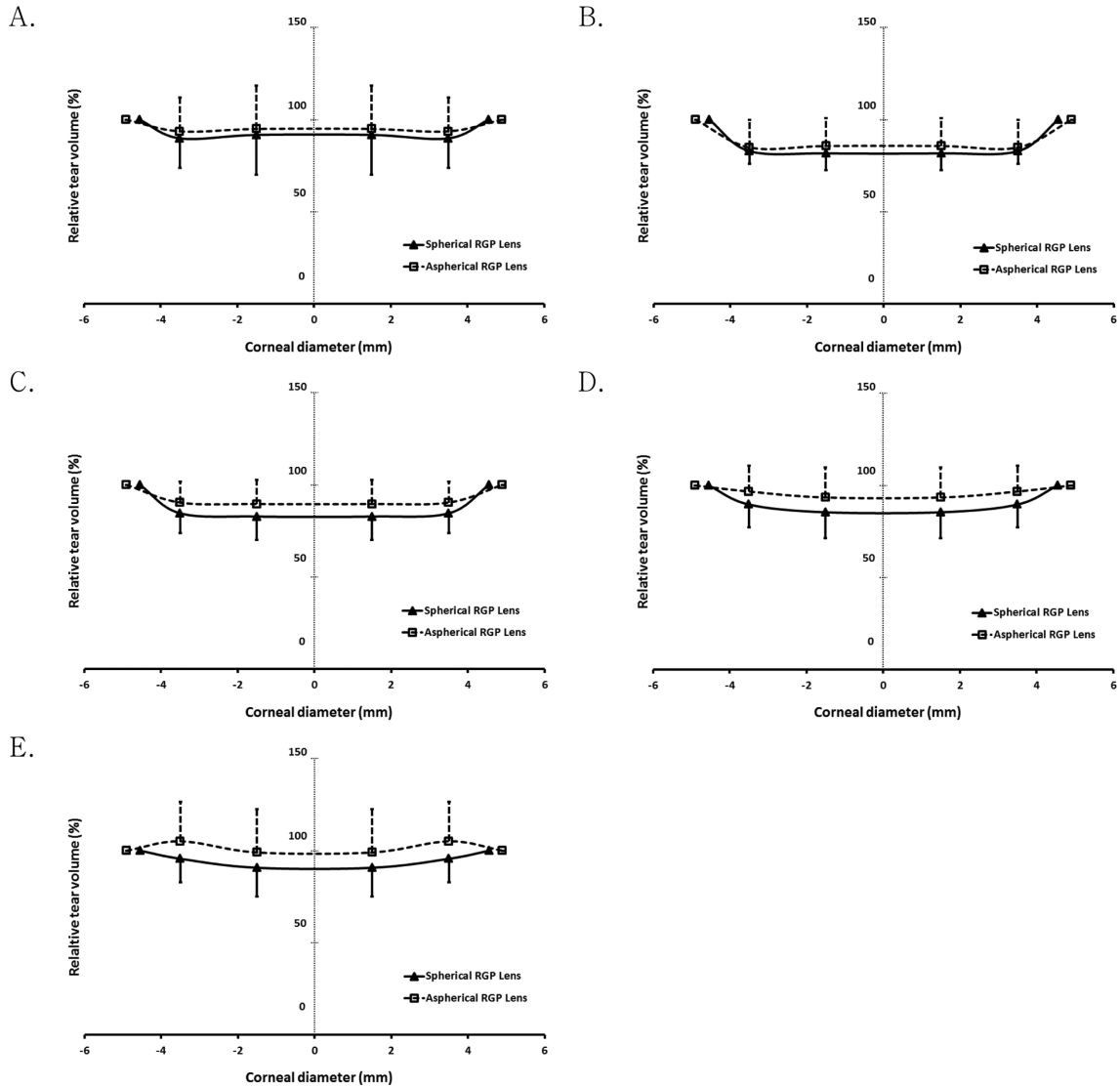


Fig. 4. Relative tear volume by corneal eccentricity when wearing spherical and aspherical RGP lenses. A. $e < 0.38$, B. $0.38 \leq e < 0.48$, C. $0.48 \leq e < 0.58$, D. $0.58 \leq e < 0.68$, E. $0.68 \leq e$

기 때문에 구면 RGP렌즈 피팅 시 중심부부터 주변부까지 눈물이 고르게 분포한 것으로 생각된다. 반면 구면 RGP렌즈 피팅 시 이심률 범위 $0.38 \leq e < 0.68$ 에서 주변부의 눈물량이 상대적으로 많은 이유는 RGP렌즈를 피팅했을 때 RGP렌즈 가장자리 디자인의 플랫폼한 커브변화로 인해 각막 중심부에 비해 주변부와와의 간격이 넓어져 주변부의 눈물량이 많았기 때문인 것으로 추측된다.^[20] 구면 RGP렌즈 피팅 시 이심률 $0.68 \leq e$ 범위에서 눈물량의 차이가 존재하지 않은 이유는 중간 이심률과 마찬가지로 가장자리와의 간격이 넓어져 주변부의 눈물량도 많았을 뿐만 아니라 RGP렌즈의 이심률과 각막 이심률의 차이가 커 중심부와 중간주변부의 간격도 같이 넓어지면서 중심부와 중간주변부의 눈물량도 많아져 주변부와 비교했을 때 상대적으로 차이가 적어 고르게 분포한 것으로 생각된다.

2) 비구면 RGP렌즈 피팅 시 이심률별 눈물분포

비구면 RGP렌즈를 착용하였을 때 가장 낮은 이심률 범위인 $e < 0.38$ 의 각막에서는 중심부 95.0%, 중간주변부 93.7%, 주변부 100%로 주변부에 비해 중심부와 중간주변부는 95.0%, 93.7%의 상대눈물량을 나타냈다. 영역별로 눈물분포 정도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 중심부, 중간주변부, 주변부의 눈물이 고르게 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 4A, Table 4). 이심률 범위 $0.38 \leq e < 0.48$ 각막에서는 중심부 85.7%, 중간주변부 84.9%, 주변부 100%로 눈물이 분포하는 것으로 나타났고 이심률 $0.48 \leq e < 0.58$ 범위에서는 중심부 89.6%, 중간주변부 90.7%, 주변부 100%로 나타났다. 두 이심률 범위 모두 중간주변부의 상대눈물분포율이 다른 이심률에 비해 작게 나타났고 각 영역별 눈물분포도 통계적으로 유의한 차이

가 있었다(Fig. 4B, 4C, Table 4). 이심률 $0.38 \leq e < 0.58$ 범위의 각막은 사후검정 결과 중심부와 중간주변부의 눈물양은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고 주변부와 중심부, 주변부와 중간주변부의 눈물분포 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보여 중심부에서 중간주변부까지의 눈물분포는 고르지만 주변부와 눈물양 차이가 커지는 것을 알 수 있었다(Table 4). 이심률 범위 $0.58 \leq e < 0.68$ 각막의 경우 중심부 93.5%, 중간주변부 96.7%, 주변부 100%로 나타났고 유의확률 0.08로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 중심부에서 주변부까지 눈물 분포 정도가 고른 것으로 나타났(Fig. 4D, Table 4). 이심률 $0.68 \leq e$ 범위에서는 중심부 99.0%, 중간주변부 105.1%, 주변부 100%로 중간주변부의 눈물양이 주변부보다 높은 것으로 나타나 이심률 $e < 0.68$ 범위에서 주변부의 눈물양이 가장 많았던 것과는 다르게 분포하는 것으로 나타났으나 이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 $0.68 \leq e$ 범위의 각막에서는 중심부에서 주변부까지 눈물이 고르게 분포하는 것을 알 수 있었다(Fig. 4E, Table 4).

비구면 RGP렌즈 피팅 시에도 구면 RGP렌즈 피팅 시와 비슷하게 이심률 $e < 0.38$ 범위와 $0.68 \leq e$ 범위의 각막에서는 중심부부터 주변부까지 눈물분포가 고르게 나타난 반면 그 외 이심률 범위에서와는 눈물분포에 차이를 보였다. 비구면 RGP렌즈 피팅 시 $0.38 \leq e < 0.68$ 의 이심률 범위에서 중심부나 중간주변부에 비해 주변부의 눈물양이 상대적으로 많았던 이유는 비구면 렌즈의 후면부는 중심부에서 주변부로 갈수록 점점 편평해지는 구조로 렌즈와 각막 사이가 밀접할 수 있게 디자인되었고,^[21] 가장자리가 플랫한 디자인으로 가장자리에서 급격한 커브 변화로 인해 주변부 각막과 렌즈 사이의 간격이 넓어져 주변부에 상대적으로 눈물이 많이 고였기 때문인 것으로 생각된다.^[12, 20] 낮은 이심률 범위와 높은 이심률 범위에서 눈물이 고르게 분포한 이유는 중간 이심률 범위에 비해 렌즈와 중심부, 중간주변부 각막 사이의 간격이 넓어 중간 이심률 범위의 각막에 비해 눈물양이 많았기 때문에 주변부의 눈물양과 상대적으로 차이가 없었던 것으로 사료된다. 비구면 RGP렌즈 피팅 시 눈물분포가 구면 RGP렌즈 피팅 시 눈물분포와 비슷한 결과가 나온 이유는 주변부의 눈물양을 기준으로 한 상대적인 비교였기 때문에 각막을 누르지 않게 디자인 된 가장자리의 디자인의 급격한 커브 변화로 인해 각막과 렌즈 사이에 눈물양이 많았기 때문에 각 디자인마다 눈물분포의 정도에는 차이가 없었던 것으로 생각된다.

3) 이심률별 렌즈 디자인에 따른 부분별 눈물분포

낮은 이심률 $e < 0.38$ 과 $0.38 \leq e < 0.48$ 범위의 각막에 구면 및 비구면 RGP렌즈를 착용한 경우 통계적으로 유의

Table 5. Statistical analysis of tear volume between central and mid-central areas of spherical and aspherical RGP lenses analyzed by corneal eccentricity

Group	Spherical RGP lens vs aspherical RGP lens	
	Center	Mid-center
$e < 0.38$	0.35	0.25
$0.38 \leq e < 0.48$	0.23	0.50
$0.48 \leq e < 0.58$	0.01*	0.01*
$0.58 \leq e < 0.68$	0.01*	0.01*
$0.68 \leq e$	0.06	0.03*

*significantly different from each group compared by Paired t-test, $p < 0.05$

한 차이를 보이지 않아 렌즈 디자인에 따른 눈물분포의 차이는 없는 것으로 나타났(Fig. 4A, 4B, Table 5). 따라서 낮은 이심률 $e < 0.48$ 범위의 각막은 구면과 비구면 RGP렌즈 사이에 눈물분포 정도의 차이가 없는 것을 확인할 수 있었고 중심부와 중간주변부의 눈물양도 렌즈 디자인에 의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 이심률 $0.48 \leq e < 0.58$ 범위의 경우는 구면 RGP렌즈에 비해 비구면 RGP렌즈를 착용했을 때 주변부까지의 눈물양이 비슷해 중심부에서 중간주변부까지의 눈물양이 주변부에 비해 적었던 구면 RGP렌즈와 눈물분포의 차이를 보였지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다(Fig. 4C). 하지만 중심부와 중간주변부 부분의 눈물양을 각각 비교했을 때 $0.48 \leq e < 0.58$ 범위 각막에서 중심부의 눈물분포와 중간주변부의 눈물분포가 착용한 렌즈 디자인에 따라 유의확률 0.01, 0.01로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(Table 5). 이 결과로 $0.48 \leq e < 0.58$ 범위의 전체 눈물분포는 구면과 비구면 RGP렌즈에서 차이를 보이지 않았지만 중심부와 중간주변부의 눈물양은 착용한 렌즈 디자인에 따라서 차이가 있는 것을 알 수 있었다. 이심률 범위 $0.58 \leq e < 0.68$ 에서도 구면과 비구면 RGP렌즈 착용시 전체 눈물분포가 통계적으로는 유의한 차이를 나타내지 않았지만 렌즈 부분별로 눈물양을 비교한 결과 중심부와 중간주변부의 눈물양이 렌즈 디자인에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 4D, Table 5). 따라서 $0.48 \leq e < 0.58$ 범위의 이심률의 경우와 마찬가지로 $0.58 \leq e < 0.68$ 범위의 각막은 구면 RGP렌즈에 비해 비구면 RGP렌즈를 착용했을 때 중심부에서 중간주변부까지의 눈물분포가 더 고르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 높은 이심률 범위인 $0.68 \leq e$ 각막의 RGP렌즈 피팅 시 눈물 분포는 구면과 비구면 RGP렌즈 사이에 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 비구면 RGP렌즈 착용시 중간주변부의 눈물양이 주변부보다 상대적으로 높아져 중심부에서

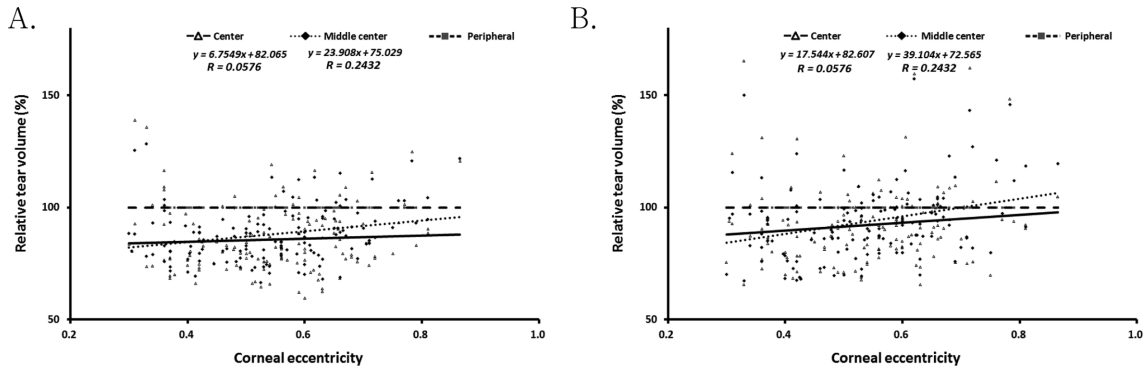


Fig. 5. Correlation between corneal eccentricity and relative tear volume. A. spherical RGP lens, B. aspherical RGP lens

주변부까지 눈물이 고르게 분포하지 않는 것으로 나타났다(Fig. 4E, Table 5). 구면과 비구면 RGP렌즈 피팅 시 중심부 눈물양 차이와 중간주변부 눈물양의 차이도 통계적으로 유의한 차이를 보여 중간주변부의 눈물양이 주변부 눈물양보다 높았던 비구면 RGP렌즈에 비해 중심부에서 주변부까지의 눈물양이 점진적으로 증가한 구면 RGP렌즈가 더 고른 눈물분포를 나타냈다.

분석결과 0.48 미만의 이심률을 가진 각막은 렌즈 디자인에 의한 눈물양의 차이가 없이 눈물분포 정도가 비슷하였지만 $0.48 \leq e < 0.68$ 범위의 각막은 비구면 RGP렌즈 피팅 시 더 고른 눈물분포를 나타냈고, $0.68 \leq e$ 범위의 각막은 구면 RGP렌즈 피팅 시 더 고른 분포를 보였다. 이러한 렌즈 디자인에 따른 눈물양의 차이는 실제 렌즈 디자인에 의해 확인되었다. 실제 구면과 비구면 RGP렌즈의 sag 깊이를 구하여 분석한 결과 비구면 RGP렌즈의 가장자리 커브가 구면 RGP렌즈에 비해 좁은 반경으로 변화하여 실제 각막과의 간격 차이가 구면 RGP렌즈에 비해 적음을 알 수 있었다(Fig. 6).

RGP렌즈 피팅 시 발생하는 차이를 개선하기 위해서는 각막의 실제 형태를 모두 고려한 피팅이 현실적으로 이루어져야 하고 각막 전면의 고른 압력을 위하여서는 각막과 같은 이심률을 가진 렌즈를 선택하거나 이심률에 가장 가까운 가장 렌즈를 선택해야 한다.^[22] Young 등의 연구에서는 평균 각막 이심률 0.45에 비구면 및 구면 RGP렌즈를 피팅하였을 때, 비구면 RGP렌즈 피팅 시 양호한 경우가 더 높게 나타났는데 이는 비구면 RGP렌즈가 각막에 더 고른 압력이 분포되기 때문이었다고 보고하였다.^[23] 이는 본 연구결과와 동일한 양상이었고 이러한 이유로 평균 이심률을 고려하여 제작된 비구면 RGP렌즈 피팅 시 평균 이심률 범위가 포함된 중간 이심률의 각막에서 중심부부터 주변부간의 간극 차이가 적어 눈물양 및 눈물분포가 구면보다 고른 것으로 사료된다. 비구면 RGP렌즈의 이심률에 비해 상대적으로 낮은 이심률이나 높은 이심률을 가

진 각막의 경우 주변부 간극에 의한 눈물양의 차이가 비슷해 통계적으로 유의한 차이가 없이 구면과 비구면 RGP렌즈의 차이가 없는 것으로 사료된다. 하지만 높은 이심률의 경우 구면 RGP렌즈 피팅 시 더 고른 눈물분포를 보이는 경향을 나타내었는데 이는 비구면 RGP렌즈 피팅 시 중간주변부의 눈물양이 주변부에 비해 상대적으로 많은 것으로 인해 구면 RGP렌즈에 비해 중심부부터 주변부까지 고른 분포를 보이지 않았던 것이라고 생각된다.

4) 이심률 변화에 따른 주변부에 대한 부분별 상대눈물양 변화

RGP렌즈 피팅 시 이심률에 따라서 주변부의 눈물양을 기준으로 중심부와 중간주변부 눈물양의 차이가 나타났고 중심부 눈물양에 비해 중간주변부 눈물양의 변화가 더 큰 것으로 나타났다(Fig. 5). 구면 RGP렌즈의 경우 이심률이 증가할수록 중심부 3 mm의 눈물양도 증가하였으나 그 정도가 매우 작았고 이심률과 중심부의 눈물양의 관계가 pearson 상관계수 0.055, 유의확률 0.264로 통계적으로 유의한 양의 상관관계는 아니었다. 또한 선형회귀분석을 통해 이심률이 중심부의 눈물양에 미치는 영향을 분석한 결과도 유의확률 0.528로 통계적으로 유의하지 않아 구면 RGP렌즈 피팅 시 중심부 눈물양은 이심률에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 중심부의 눈물양은 이심률에 영향을 받지 않았지만 중간주변부의 눈물양은 이심률과의 상관관계에서 상관계수 0.243, 유의확률 0.002로 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 나타냈다. 그리고 회귀분석 결과를 통해 각막 이심률이 구면 RGP렌즈 피팅 시 중간주변부 눈물양에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며 이심률이 증가할수록 중간주변부의 눈물양도 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 중심부의 눈물양은 이심률에 관계없이 비슷하지만 중간주변부는 이심률이 증가할수록 눈물양도 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

비구면 RGP렌즈 피팅 시 이심률에 의한 중심부와 중간

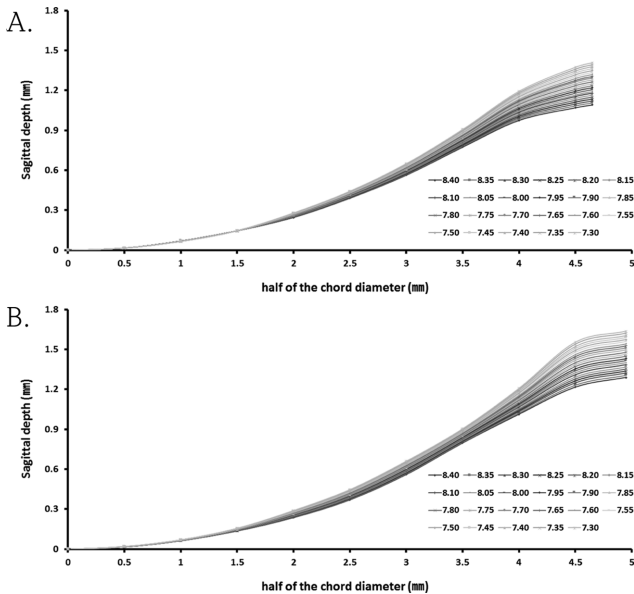


Fig. 6. Sagittal depth of RGP lens by the lens design.
A. spherical RGP lens, B. aspherical RGP lens

주변부 눈물양의 변화는 구면 RGP렌즈 피팅 시 보다 변화하는 정도가 컸다. 이심률에 의한 중심부의 눈물양 변화가 작았던 구면 RGP렌즈에 비해 비구면 RGP렌즈는 이심률에 의한 눈물양 변화가 상관계수 0.127로 구면 RGP렌즈의 상관계수 0.055에 비해 양의 상관성이 높게 나타났지만 통계적으로 유의한 양의 상관성을 나타내지는 않았다. 회귀분석을 통해서도 통계적으로 유의한 관계를 보이지 않아 각막 이심률이 비구면 RGP렌즈 피팅 시 중심부 눈물양에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 중간주변부 눈물양의 경우는 상관계수 0.301, 유의확률 0.000으로 양의 상관성을 나타내었고, 회귀분석을 통한 결과 또한 유의확률 0.000으로 통계적으로 유의해 각막 이심률이 비구면 RGP렌즈 피팅 시 중간주변부 눈물양에 영향을 주고 이심률이 증가할수록 중간주변부의 눈물양이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

이심률 변화에 따른 주변부에 대한 상대 눈물양 변화를 분석한 결과 구면과 비구면 RGP렌즈 모두 모두 중심부의 눈물양은 이심률 변화에 영향을 받지 않는 것으로 나타났지만 중간주변부 눈물양은 이심률 변화에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이심률이 증가할수록 중간주변부의 눈물양이 증가하였고 구면 RGP렌즈의 눈물양 증가 추세 기울기 0.2391에 비해 비구면 RGP렌즈의 기울기는 0.391로 비구면 RGP렌즈의 증가 추세가 더 큰 것으로 나타났다. 이 결과 중간주변부 눈물양 변화는 비구면이 구면 RGP렌즈에 비해 이심률의 영향을 더 크게 받는 것을 확인할 수 있었다.

이심률 변화에 따른 부분별 눈물양의 변화를 분석한 결

과 이심률이 증가할수록 중심부 및 중간주변부의 눈물양이 증가하는 것으로 나타나 부분별 눈물양이 각막 이심률에 영향을 받는 것으로 나타났다. 구면과 비구면 RGP렌즈의 양호한 피팅 시 중심부의 눈물양이 중간주변부에 비해 영향을 덜 받는 것으로 나타났고 이는 비구면계수의 차이가 있을 경우 중심부의 곡률변화에 비해 주변부의 곡률변화가 크다고 보고한 Gonzalez-Mejome 등^[24]의 연구 결과에서처럼 이심률의 차이에 의해 중심부와 주변부의 곡률 차이가 달라 나타나는 결과로 사료된다. 또한 가장 양호한 상태로 피팅된 구면과 비구면 RGP렌즈 중심부의 곡률보다 주변부 곡률 변화에 따른 디자인 차이에 의해 주변부 각막에서 각막과 렌즈 사이의 눈물양 차이가 나타난 것으로 생각된다.

결론

본 실험에 사용된 구면과 비구면 RGP렌즈의 경우에는 두 디자인의 렌즈 모두 낮은 이심률과 높은 이심률의 각막에서 중심부부터 주변부까지 눈물이 고르게 분포하는 것으로 나타났고 중간 이심률 범위에서는 눈물양의 차이가 있는 것으로 나타났다. 렌즈 디자인간의 비교에서는 낮은 이심률의 경우 구면과 비구면 RGP렌즈 모두 눈물 분포의 차이가 없이 고르게 분포하여 양호한 피팅 시 디자인에 따른 눈물분포의 차이가 없는 것으로 나타났다. 높은 이심률의 경우 비구면 RGP렌즈에 비해 구면 RGP렌즈 피팅 시 중심부부터 주변부까지 더 고른 눈물분포를 나타내 높은 이심률의 각막에서는 구면 RGP렌즈 피팅이 더 적절할 수 있을 것으로 보인다. 중간 이심률 범위의 각막에서는 구면과 비구면 RGP렌즈 모두 중심부에서 주변부로 갈수록 눈물양이 증가하였지만 비구면 RGP렌즈 피팅 시 더 고른 눈물분포를 나타내 비구면 RGP렌즈 피팅이 더 적합할 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 평균 각막 이심률에서 벗어날 경우 낮은 이심률은 구면과 비구면, 중간 이심률은 비구면, 높은 이심률은 구면 디자인의 RGP렌즈를 선택하여야 하고 각막 이심률마다 렌즈 중심부부터 주변부까지 가장 눈물이 고르게 분포하는 적절한 RGP렌즈의 디자인으로 피팅하여야 함을 제안하는 바이다.

REFERENCES

- [1] Clark BAJ. Mean topography of normal corneas. *Aust J Optom.* 1974;57(4):107-114.
- [2] Kiely PM, Smith G, Carney LG. The mean shape of the human cornea. *Optica Acta.* 1982;29(8):1027-1040.
- [3] Mandell RB. The enigma of corneal contour; Everett Kinsey Lecture. *CLAO J.* 1992;18(4):267-273.

- [4] Davis WR, Raasch TW, Mitchell GL, Mutti DO, Zadnik K. Corneal asphericity and apical curvature in children : a cross-sectional and longitudinal evaluation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46(6):1899-1906.
- [5] Eghbali F, Yeung KK, Maloney RK. Topographic determination of corneal asphericity and its lack of effect on the refractive outcome of radial keratotomy. *Am J Ophthalmol.* 1995;119(3):275-280.
- [6] Mandell RB, Sthelen R. Mathematical model of the corneal contour. *Br J Physiol Opt.* 1971;26(3):183-197.
- [7] Guillon M, Lydon DP, Wilson C. Corneal topography: a clinical model. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1986;6(1):47-56.
- [8] Sheridan M, Douthwaite WA. Corneal asphericity and refractive error. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1989;9(3):235-238.
- [9] Maseedupally V, Gifford P, Swarbrick H. Variation in normal corneal shape and the influence of eyelid morphometry. *Optom Vis Sci.* 2015;92(3):286-300.
- [10] Bier N. The contour lens a new form of corneal lens. *Australas J Optom.* 1957; 40(7):318-320.
- [11] Bayshore CA. Report on 276 patients fitted with micro corneal lenses, apical clearance and central ventilation. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1962;39(10):552-553.
- [12] Gasson A, Morris JA. The contact lens manual a practical guide to fitting, 3rd Ed. Seoul: Daihakseolim, 2005;153-158.
- [13] Park SI, Lee SE, Kim SR, Park M. A comparison of the movement of aspheric RGP lens on cornea by the amounts of keratometric astigmatism using keratometer and corneal topography. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2011;16(2):123-133.
- [14] Park EH, Kim SR, Park M. The comparison of fluorescein patterns between spherical RGP lens and aspherical RGP lens by corneal type and astigmatic degree. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(1):37-45.
- [15] Lim SG, Lee MH, Choi SM, Park SH, Kim SR, Park M. A relationship between corneal type, corneal astigmatism and lens fitting states and the stable centration of spherical RGP lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(2):143-151.
- [16] Park EH, Kim SR, Park M. A comparison of the contact areas between cornea and RGP lenses by fitting status. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(3):255-264.
- [17] Kim J, Kim SR, Park M. The effects of corneal type and corneal astigmatism on tear volume between rigid gas permeable lens and the cornea. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(2):141-150.
- [18] Park EH, Kim SR, Park M. A Relationship between corneal eccentricity and stable centration of RGP lens on cornea. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(4):373-380.
- [19] Mannis MJ, Zadnik K, Coral-Ghanem C, Kara-Jose N. Contact lenses in ophthalmic practice, 1st Ed. New York: Springer Verlag, 2004:62-64.
- [20] Douthwaite WA. Contact lens optics and lens design, 3rd Ed. London: Butterworth-Heinemann, 2006;99-104.
- [21] Fletcher R, Lupelli L, Rossi AL. Contact lens practice: a clinical guide, 1st Ed. London: Blackwell Scientific Publications, 1994;34-35.
- [22] van der Worp E. Respecting the shape of the cornea in RGP lens fitting. *Optom Pract.* 2004;5(4):153-162.
- [23] Young G. The effect of rigid lens design on fluorescein fit. *Cont Lens Anterior Eye.* 1998;21(2):41-46.
- [24] Gonzalez-Mijome JM, Villa-Collar C, Monts-MicR, Gomes A. Asphericity of the anterior human cornea with different corneal diameters. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(3):465-473.

구면 및 비구면 RGP렌즈 피팅 시 각막 이심률별 눈물분포 비교

김지혜, 김소라, 박미정*

서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 01811

투고일(2016년 5월 1일), 수정일(2016년 5월 26일), 게재확정일(2016년 6월 9일)

목적: 구면 및 비구면 RGP렌즈 피팅 시 각막 이심률별 눈물양 및 눈물분포를 비교하고자 하였다. **방법:** 안질환 및 안과적 수술경험이 없는 20~30대 77명(136안)을 대상으로 가장 양호한 상태로 구면 및 비구면 RGP렌즈를 피팅하였다. 피팅된 RGP렌즈의 중심부, 중간주변부 및 주변부의 플루레신으로 염색된 눈물의 농도를 분석하여 눈물량을 분석하였고 이심률별로 눈물분포의 차이를 분석하였다. **결과:** 구면 RGP렌즈 피팅 시 이심률 $e < 0.38$ 범위와 $0.68 \leq e$ 범위는 중심부부터 주변부까지의 눈물분포량이 통계적으로 차이가 없어 다른 이심률 각막보다 상대적으로 고른 눈물분포량을 보이는 것으로 나타났다. 비구면 RGP렌즈의 경우는 구면 렌즈에 비해 중심부와 주변부의 눈물 분포량 차이가 적었으며, 이심률 범위 $0.48 < e < 0.68$ 각막에서는 두 렌즈 디자인 간에 통계적으로 유의한 눈물분포 차이가 나타났다. 즉, 이심률 범위 $0.48 \leq e < 0.68$ 범위의 각막은 비구면 RGP렌즈 피팅 시, 이심률 $0.68 \leq e$ 범위에서는 구면 RGP렌즈 피팅 시 더 고른 분포를 보였다. 또한 이심률이 증가할수록 중간주변부 눈물양이 증가하는 것으로 나타났다. **결론:** 구면 및 비구면 RGP 렌즈 부분별 눈물양 및 눈물분포는 각막 이심률에 영향을 받기 때문에 각막 이심률에 따른 적절한 RGP렌즈 디자인의 선택이 필요함을 제안한다.

주제어: 각막 이심률, 눈물양, 눈물분포, RGP렌즈 피팅, RGP렌즈 디자인