소프트콘택트렌즈의 유형에 따른 각막형태의 변화

우철민^{1,2}, 이현미^{1,2,*}

¹대구가톨릭대학교 안경광학과, 경산, 712-702

²대구가톨릭대학교 시기능증진연구소, 경산, 712-702

투고일(2014년 1월 31일), 수정일(2014년 3월 4일), 게재확정일(2014년 3월 15일)

목적: 콘택트렌즈의 함수율, 재질, 굴절력의 차이에 따른 착용전후의 각막의 형태 변화를 살펴보고자 하였다. **방법:** 5가지 유형의 콘택트렌즈를 사용하여 렌즈 착용 전후의 두께차이를 비교하였다. 각막의 중심부와 각막 중심에 떨어진 거리와 방향에 따른 렌즈 착용 전, 후의 각막의 두께, 각막 전, 후면 곡률, 고위수차의 변화를 조사하였다. 측정에 사용된 장비로는 ORB ScanII(Bausch & Lomb Inc, ver 3.14)로 각막 지형도 및 각막 두께를 측정하였으며, 고위수차(high order aberration) 분석을 위하여 Zywave(Bausch & Lomb Inc, ver 5.20)를 사용 하였다. **결과:** 산소투과가 낮은 하이드로겔 재질의 소프트 콘택트렌즈(T2 lens)에서 각막의 두께가 증가하는 경향이 두드러지게 나타났다. 각막 중심에서 가장 많은 변화를 보였으며, 중심에 가까울수록 변화정도가 증가하였다. 각막의 방향에 있어서는 코 쪽이 가장 많이 변화하였다. **결론:** 본 연구에서 사용한 함수율, 재질, 디자인이 다른 5종의 콘택트렌즈 중 Dk가 28이상의 산소투과도를 가진 렌즈에서는 각막의 형태 변화가 적었으며, 산소투과도가 매우 낮은 렌즈에서 가장 많은 각막 형태의 변화가 나타났다.

주제어: 콘택트렌즈, 각막 두께, 고위수차, 산소투과도, 함수율

서 론

오늘날 다양한 종류의 콘택트렌즈가 개발되면서 시력교정이나 치료뿐만 아니라 미용 등의 목적으로 소프트콘택트렌즈가 다양하게 사용되어 지고 있다. 또한 소프트콘택트렌즈의 생산이 대량화가 이루어지면서 누구나 손쉽게 소프트콘택트렌즈를 구입 및 착용이 용이해지면서 콘택트렌즈 사용자가 날로 증가되고 있다. 하지만 콘택트렌즈의 특성을 고려하지 않고 무분별하게 사용함에 따라 콘택트렌즈에 의한 부작용 또한 증가되고 있다. 콘택트렌즈의 하루 착용 권장 시간인 8시간을 초과하여 2일 이상 착용하는 등 권장 착용시간을 준수하지 않거나 관리상의 부주의로 안질환이 지속적으로 유발되고 있다.^[1]

소프트 콘택트렌즈의 착용에 의한 부작용은 저산소증, 안구건조증, 알러지 결막염, 각막궤양, 각막신생혈관, 무균성 침윤, 상윤부각결막염, 각막부종, 위수지상 각막염 등 여러 가지 합병증 등이 있으며,^[2,3] 가장 흔하게 볼 수 있는 것이 안구 건조증이고, 시력을 가장 위협하는 것은 신생혈관이다.^[4] 또한 소프트 콘택트렌즈 착용자는 건조감, 충혈 및 피로를 많이 느낀다.^[5]

각막은 무혈관 조직이기 때문에 눈을 뜬 상태에서는 주로 대기에서나 눈물, 방수, 각막 윤부 혈관을 통한 확산을 통해서 산소를 공급받지만 눈을 감은 상태에서는 각막과 대기 중의 산소가 차단되기 때문에 각막과 대기와의 산소 분압의 차이가 거의 없기 때문에 산소의 확산도 적어지며, 콘택트렌즈를 사용하는 것도 각막으로 산소가 공급되는 것을 더욱 감소시켜 검판결막혈관의 산소가 확산되어 산소가 공급된다. 눈을 깜박일 때마다 눈물이 교환되는 양은 RGP렌즈의 경우 10~20%인데 비해 각막을 전부 싸고 있는 소프트콘택트렌즈는 1%정도만 교환이 일어나게 된다.^[6] 콘택트렌즈를 사용하는 것은 각막으로 산소가 공급되는 것을 더욱 감소시키게 된다. 콘택트렌즈 사용 시 각막은 저산소증으로 인하여 호기성 대사가 감소하고 혐기성 대사가 증가하여 각막 내에 이산화탄소와 젖산이 축적되면서 각막이 산성화되고 부종이 발생하게 된다. Smelser와 chen의 연구에 의하면 각막의 저산소증은 각막의 젖산 농도를 증가시킨다고 밝혔다.^[7] 각막의 산성화에 대한 연구에 따르면 정상에서 눈을 뜬 상태의 각막기질의 pH는 7.55이고 눈을 감은 상태에서는 pH 7.39까지 떨어질 수 있으며, 이는 각막 내에 젖산 및 이산화탄소가 축적됨으로써

*Corresponding author: Lee Hyun Mee, TEL: +82-53-850-2552, E-mail: hmlee@cu.ac.kr

생긴다고 하였다.^[8] 이렇게 각막 내에 젖산 및 이산화탄소가 축적되면 각막부종이 생길 수 있으며 잠을 자는 동안 하이드로겔 렌즈의 경우 10~14.4% 정도의 각막부종이, RGP렌즈의 경우 4.4~16.3% 정도의 각막부종이 생기는 것으로 알려져 있다. 이러한 각막부종이 생기지 않으려면 산소투과성이 장기착용 렌즈의 경우 75~89 Dk/t, 매일 착용 렌즈의 경우 20~34 Dk/t 정도는 되어야 한다.^[9,10]

각막신생혈관은 여러 가지 기전 중에 각막의 저산소증에 의해 유도된다고 알려져 왔다.^[11] 이전 연구에서 각막신생혈관 발생과 각막지각감퇴의 정도는 서로 유의하게 관련이 있었으며 콘택트렌즈를 착용한 기간과도 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다.^[12] 각막신생혈관은 가스투과성 렌즈나 경성렌즈에서는 발생율이 낮으나 소프트렌즈 특히 연속착용렌즈에서 더 많이 발생하는 것으로 알려져 있다.^[13]

안구 건조증은 눈물 층의 수분부족, 안검염에 의한 지질 층의 불완전, 점액층의 변화 등에 의해 일어난다. 렌즈 착용으로 인한 눈물층의 변화를 일으키며, 각막의 저산소증으로 인한 락트산의 각막축적, 각막의 민감도 둔화에 의한 눈물 분비의 감소, 콘택트렌즈 보존액에서 분비되는 화학 독성 등으로 안구 건조증의 증세를 느끼는 가성 안구건조증인 경우가 많다. 눈물량의 감소는 독성(toxin)의 양을 증가시키며, 눈물의 농도증가는 각막상피 장벽을 파괴시킬 위험이 높으므로 그 원인을 빨리 제거하는 것이 중요하다.

소프트콘택트렌즈의 재질은 대부분 2-Hydroxyethyl methacrylate(HEMA)를 기본 단량체로 하는 하이드로겔 중합체(hydrogel polymers)로서 다량의 수분을 포함하며 유연성이 아주 뛰어난 재질이다. 최근 들어 의료용으로 많이 사용되고 있는 하이드로겔은 pH, 신체 내부 대사 온도 변화에 민감하게 반응하는 특성을 지니고 있다. 하이드로겔 콘택트렌즈는 일정한 굴절률과 함수율(water content)

을 지녀야 하며 특히 각막에 접촉하는 의료용 제품이기 때문에 생체적합성(biocompatibility)이 있어야 한다. 또한 습윤성(wettability), 팽윤비(swelling rate), 산소투과성(oxygen permeability), 기계적인 강도의 안정성과 곡률, 높은 산소 투과도와 위생적으로 유지할 수 있어야 한다.^[14]

최근 콘택트렌즈는 다양한 소재 개발과 디자인 그리고 생산기술의 발전으로 착용감과 만족도가 상승되고 있다. 이는 콘택트렌즈가 기존의 시력교정이나 치료의 목적뿐만 아니라 미용용으로도 많이 착용하도록 하는 원동력이 되면서 콘택트렌즈 착용 인구가 날로 증가되고 있다. 그러나 콘택트렌즈의 관리상 부주의와 장기착용으로 인한 안질환 및 각막의 형태 변화 등 심각한 부작용이 초래되고 있다. 따라서 본 연구에서는 콘택트렌즈의 착용으로 인해 발생하는 각막 형태 변화의 부작용을 살펴보고자 한다. 이를 위해 재질, 굴절력, 디자인, 그리고 산소투과율이 다른 소프트 콘택트렌즈를 사용하여 각막의 두께, 곡률반경, 고위수차 및 굴절력 변화 등과 같은 각막 형태 변화를 살펴보았다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구의 대상자는 시력교정 수술이나 Ortho-K lens를 한 경험이 없고, 기타 각막 및 안구에 영향을 미칠 수 있는 질환이나 약물사용이 없고 교정시력이 1.0이상으로 정상 시력인 자로 만18세~45세(25.92 ± 8.71) 사이의 성인 남. 여 13명(남5, 여8) 26안을 대상으로 실행하였다. 실험 참가자의 굴절 이상도는(Sph- 1.78 ± 1.76 , Cyl- 1.00 ± 0.65)이며 각막의 중심 두께 $532.50 \pm 31.56 \mu\text{m}$ 이었고, 각막곡률은 수직경선 $43.78 \pm 1.57 \text{ D}$, 수평경선 $42.65 \pm 1.55 \text{ D}$,

Table 1. Specifications of contact lenses used in this study

Specifications	S1	S2	S3	T1*	T2**
Power(D)	-3.00	+3.00	-3.00	-3.00-1.25	-3.00-1.25
Material	Etafilcon A	Etafilcon A	Senofilcon A	Galyfilcon A	HEMA
Type	Hydrogel	Hydrogel	Si-Hydrogel	Si-Hydrogel	Hydrogel
FDA Group	4 Group	4 Group	1 Group	1 Group	1 Group
W/C (%)	58	58	38	47	38
Dk	28	28	103	60	« 10
Dk/t	33	33	147	85.7	8
Dia. (mm)	14.2	14.2	14.0	14.5	14.2
B.C (mm)	8.5	8.5	8.4	8.6	8.6
C.T (mm)	0.084	0.084	0.084	0.09	0.07

*Accelerated Stabilization Design, **Prism ballast Design

Sim-K 43.12 ± 1.66 D, 후면곡률 -6.44 ± 0.69 D였다. 대상자 중 RGP렌즈 착용자는 없었으며 기존에 소프트 콘택트렌즈를 착용하던 대상자는 실험 전 최소 2주일 이상 렌즈를 제거한 후 안경을 착용하도록 하였다.

2. 방법

본 실험에 참여한 모든 참가자는 동일한 실험 환경을 위해서 렌즈 착용시간을 이전 연구들에서 수면 중 발생한 각막의 부종은 2~3시간 이내에 정상으로 돌아온다고 보고가 되었으므로,^[15,16] 최소기상 후 3시간 이후인 오전 10시~12시 사이에 렌즈를 착용하였다. 하루 착용 시간 8시간 후 인 오후 6시~8시 사이에 렌즈를 제거한 후 즉시 검사를 진행하였다.

대조군(control group)은 렌즈를 착용 하지 않은 상태에서 동일 시간대에서의 각막형태 변화를 고려하기 위하여 콘택트렌즈 착용자와 동일한 시간대에 측정하였다.

실험에서 사용된 렌즈는 각막 형태 변화를 살펴보기 위해 재질, 굴절력, 디자인, 그리고 산소투과율이 다른 소프트 콘택트렌즈를 Table 1과 같이 5종류를 사용하였으며, 각 콘택트렌즈의 착용 전·후의 각막 두께, 곡률반경, 고위수차 및 굴절력 변화 등의 변화를 살펴보았다. Fig. 1A에는 각막 중심부(Center zone) 및 중심에서 떨어진 거리 즉, 3 mm, 5 mm, 그리고 7 mm 영역을 나타내었으며, Fig. 1B에는 각막중심에서의 방향 즉, 코 쪽(Nasal), 귀 쪽(Temporal), 아래 쪽(Inferior), 위 쪽(Superior) 영역을 각각 나타내었다.

각 렌즈에 대한 착용 전·후의 변화를 살펴보기 위해 각막 두께, 각막의 수직, 수평곡률, 후면곡률, 굴절력, 고위수차(Higher Order Aberration HOA), 구면수차(Spherical aberration SA), 코마수차(Coma aberration CA)의 변화를 측정하였다. 측정에 사용된 장비로는 ORB ScanII(Bausch

& Lomb Inc, ver. 3.14)을 사용하여 각막 지형도 및 각막 두께를 측정 하였으며, 고위수차(high order aberration) 분석을 위하여 Zywave(Bausch & Lomb Inc, ver. 5.20)를 사용 하였다. 측정된 자료는 SPSS 20.0 프로그램, T-test와 ANOVA를 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 각막 중심 및 거리에 따른 두께 변화

Fig. 1에는 콘택트렌즈 착용 전·후의 각막두께 변화를 살펴보기 위해 각막 중심에서 떨어진 거리 및 방향 표시 즉, 각막 중심, 3 mm, 5 mm, 그리고 7 mm 떨어진 거리, 그리고 중심에서 귀 쪽, 코 쪽, 위 쪽, 아래 쪽 을 각각 표시하였다.

Fig. 2에는 각막의 중심 두께 변화를 살펴보면 콘택트렌즈를 착용 후 S1렌즈 6.65 ± 0.75 μ m, S2렌즈 7.27 ± 0.34 μ m, S3렌즈 3.27 ± 3.63 μ m, T1렌즈 5.23 ± 0.27 μ m로 증가하였으나 유의한 변화가 없었으며, T2렌즈의 경우 다른 4종류의 렌즈에 비해 5~10배 정도의 36.96 ± 0.74 μ m의 두

Fig. 2. Changes of corneal thickness between pre- and post-wearing C/L (distance) (μ m).

(A)

(B)

Fig. 1. Measurement position of cornea. (A) Distance, (B) Position

Table 2. Corneal thickness change after T-2 lens wearing (%)

Variation (%)	Distance				Positions			
	C	3 mm	5 mm	7 mm	N	T	I	S
T2-lens	6.27	5.79	4.77	3.80	5.62	5.44	4.83	3.14

께를 나타냄으로써 매우 유의한 변화가 나타났다.

3 mm에 위치한 코 쪽 영역에서의 렌즈 착용 8시간 후의 두께 변화는 S1렌즈 $2.56 \pm 3.57 \mu\text{m}$, S3렌즈 $2.17 \pm 2.31 \mu\text{m}$, 그리고 T1렌즈는 $4.73 \pm 2.97 \mu\text{m}$ 로 유의한 변화가 없었으며, S2렌즈의 경우 $6.42 \pm 4.04 \mu\text{m}$ 로 약간의 유의한 변화가 나타났다. 특히 T2렌즈의 경우 $35.03 \pm 2.43 \mu\text{m}$ 로 다른 렌즈에 비해 매우 큰 변화가 나타났다(Table 2). 귀 쪽 영역의 두께 변화는 코 쪽 영역과 같이 T2렌즈를 제외하고는 거의 변화가 없었으며 T2렌즈는 다른 렌즈에 비해 유의한 변화가 나타났다. 아래 쪽 영역의 두께 변화는 T2렌즈의 경우 $33.52 \pm 1.84 \mu\text{m}$ 로 많은 변화가 있었으며, 나머지 렌즈들은 아주 적은 양 이지만 두께가 모두 감소됨을 알 수 있었다. 위 쪽 영역의 두께 변화도 코 쪽, 귀 쪽, 그리고 아래 쪽 모두 변화 값이 유사한 것으로 나타났다. 3 mm 영역에서는 코 쪽 영역의 변화가 가장 크고 귀 쪽, 아래 쪽 순으로 나타났으며 위 쪽 영역이 가장 변화가 적게 나타났다.

각막 중심에서 5 mm에 위치한 코 쪽 영역의 두께 변화는 S1렌즈와 S3렌즈는 각각 유의한 변화가 없었으며, S2렌즈와 T1렌즈에 대한 두께 변화 값은 S1과 S2렌즈에 비해 약간 더 많은 변화가 있었다. 그러나 T2렌즈의 경우 착용 8시간 후 $36.87 \pm 1.89 \mu\text{m}$ 로 다른 렌즈들에 비해 두께 변화가 아주 많이 나타났다. 귀 쪽, 아래 쪽, 위 쪽 영역의 두께 변화는 T2렌즈를 제외하고는 거의 모든 렌즈에서 변화가 나타나지 않았고, T2렌즈의 경우, 착용 8시간 후 많은 변화가 나타났다. 5 mm 영역에서는 3 mm 영역과 같이 코 쪽, 귀 쪽, 아래 쪽 순으로 변화량이 많았으며 위 쪽 영역의 변화량이 가장 적었다.

각막 중심에서 7 mm에 위치한 코 쪽 영역의 두께 변화는 S1렌즈 착용 후 $6.03 \pm 0.90 \mu\text{m}$, S2렌즈 착용 후 $3.53 \pm 1.25 \mu\text{m}$, S3렌즈 착용 후 $5.97 \pm 0.92 \mu\text{m}$, T1렌즈 착용 후 $2.03 \pm 8.51 \mu\text{m}$ 로 거의 변화가 없었으며, T2렌즈 착용 8시간 후 $31.01 \pm 0.30 \mu\text{m}$ 로 유의한 변화가 나타났다. 귀 쪽 영역의 두께 변화는 코 쪽 영역과 같이 T2렌즈를 제외한 다른 렌즈에서는 거의 변화가 없었다. T2렌즈는 착용 8시간 후 $26.69 \pm 5.95 \mu\text{m}$ 로 유의한 변화가 나타났다. 아래 쪽 영역의 두께 변화는 T2렌즈 착용 8시간 후 $24.92 \pm 3.42 \mu\text{m}$ 로 많은 변화가 나타났으며, T2렌즈를 제외한 나머지 렌즈에서는 거의 변화가 나타나지 않았다. 위 쪽 영

Fig. 3. Changes of corneal thickness between pre- and post-wearing C/L (position) (μm).

역의 두께 변화도 코 쪽, 귀 쪽, 아래 쪽과 유사하게 나타났다. T2렌즈 착용 8시간 후 $14.28 \pm 4.29 \mu\text{m}$ 로 유의한 변화가 나타났다. 7 mm 영역의 경우도 3 mm 영역이나 5 mm 영역과 같이 코 쪽, 귀 쪽, 아래 쪽, 위 쪽 순으로 변화가 나타났다.

2. 각막의 방향에 따른 두께 변화

Fig. 3에 나타난 바와 같이 각막의 방향에 따른 두께 변화량은 중심부가 약 6.27% 증가하여 다른 부위보다 많이 증가한 것으로 나타났으며, 다음으로 코 쪽, 귀 쪽, 아래 쪽, 위 쪽의 순으로 증가 하였다. T2렌즈의 경우는 다른 4 종류의 콘택트렌즈보다 각 부위별 두께가 많이 증가했다. 특히 중심부는 3 mm, 5 mm, 그리고 7 mm 영역에 비해 두께가 가장 많이 증가한 것으로 나타났다. 또한 T2렌즈의 경우, 다른 렌즈와 달리 코 쪽이 다른 귀 쪽, 위 쪽, 그리고 아래 쪽에 비해 가장 많은 두께 변화를 보였다.

T2 렌즈는 앞에서 살펴 본 바와 같이 5종의 콘택트렌즈 중 가장 많은 변화량을 보였다. Table 3에는 T2 렌즈에 대해 거리와 방향에 따른 변화를 변화율로서 나타내었다. 각막의 방향에 따른 변화율을 살펴보면, 코 쪽이 5.62%로 많이 변화였으며 귀 쪽, 아래 쪽, 그리고 위 쪽의 순서로 5.44%, 4.83%, 그리고 3.14% 순서로 변화였다.

T2 콘택트렌즈에 대한 각막의 중심, 각막 중심에서의 거리, 그리고 각막의 방향에 따라 착용 전과 착용 후의 두께 변화를 알아보기 쉽게 Fig. 4와 5에 나타내었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 왼쪽의 착용 전에 비해 오른쪽의 착용 후의 두께가 두꺼워졌으며 중심이 많이 변했으며 가장자리로 갈

Table 3. Changes of refractive power between pre- and post-wearing C/L(D)

	Spherical		Cylinder	
	After 8 hr	Variation	After 8 hr	Variation
Pre	-1.77 ± 1.76		-1.00 ± 0.65	
S1	-2.14 ± 1.55	-0.37 ± 0.21	-0.89 ± 0.56	0.11 ± 0.40
S2	-1.53 ± 1.82	$+0.24 \pm 0.06$	-0.86 ± 0.55	0.14 ± 0.26
S3	-1.98 ± 1.58	-0.21 ± 0.18	-0.85 ± 0.64	0.15 ± 0.30
T1	-2.03 ± 1.47	-0.26 ± 0.29	-0.80 ± 0.53	0.20 ± 0.30
T2	-2.13 ± 1.51	-0.36 ± 0.25	-0.89 ± 0.65	0.11 ± 0.40

Fig. 4. Changes of corneal thickness between pre- and post-wearing C/L (T2 lens) (central). (Right: Post-wearing, Left: Pre-wearing)

Fig. 5. Changes of corneal thickness between pre- and post-wearing C/L (T2 lens). (Outer line: Post-wearing, Inner line: Pre-wearing)

수록 변화량이 감소함을 볼 수 있다. Fig. 5에는 착용 전의 두께를 빨간 선으로 표시하고, 착용 후를 흰색 선으로 표시하여 착용 전후의 두께 변화를 명확히 구분하여 나타내었다.

3. 렌즈 유형 별 각막의 형태 변화

본 연구에서 사용한 5종의 콘택트렌즈 유형은 콘택트렌즈를 착용하였을 때의 함수율, 굴절력, 재질, 그리고 디자인의 차이에 따른 각막의 변화를 보기 위하여 선택하였다. 앞에서 5종의 렌즈에 대한 착용 전·후의 각막 중심에서의 거리 및 방향에 따른 변화를 살펴보았으며, 렌즈의 유형별 각막형태 변화는 다음과 같다.

1) 굴절력에 따른 각막의 형태 변화

같은 재질의 Etafilcon A로서 -3.00 D, $+3.00$ D의 다른 굴절력을 가진 S1과 S2의 렌즈를 비교하였다. 굴절력 차이에 따른 각막의 형태 변화는 거의 없었다. 변화 정도는 중심에서 많이 변했으며 가장자리로 갈수록 변화량이 적음을 알 수 있다. 각막의 방향에 따른 차이는 두 종류의 렌즈 모두 위 쪽, 코 쪽, 아래 쪽, 그리고 귀 쪽의 순서로 나타나지만 변화량은 S1과 S2렌즈는 거의 같은 값으로 나타났으며 변화량도 거의 없었다.

2) 재질에 따른 각막의 형태 변화

굴절력은 같지만 Etafilcon A와 Senofilcon A로 재질이 다른 경우의 각막 변화를 보기위해 S1과 S3 렌즈를 비교하였다. 거리에 따른 변화를 보면 착용 전에 비해 중심의 경우 S1이 약간 증가하였으며, 3 mm, 5 mm, 그리고 7 mm에서는 S3렌즈가 약간 감소하였다. 한편 코 쪽과 위 쪽에서는 S3렌즈가 거의 같은 값이며, 귀 쪽과 아래 쪽에서는 S3가 S1렌즈보다 약간 감소하는 것으로 나타났다.

콘택트렌즈의 디자인은 Sph-3.00Cyl-1.25 D인 토릭 렌즈로 같지만 재질은 Galyfilcon A와 HEMA로 서로 다른 T1과 T2를 비교하여 각막 중심에서의 거리와 각막의 방향에 따른 비교를 Fig. 6에 각각 나타내었다. 착용전과 착용후를 비교하면 Galyfilcon A 재질의 T1렌즈는 거의 변함이 없는 반면 T2렌즈에서는 모든 거리와 영역에서 두께가 크게 증가하였다. 변화율은 앞서 Table 3에서 살펴보았듯이 각막중심부가 가장 많이 변화했으며 주변부로 갈수록

Fig. 6. Changes of corneal thickness between pre- and post wearing C/L for T1 and T2 lens. (A) Distance, (B) Position (μm)

Fig. 7. Changes of corneal thickness between pre- and post wearing C/L for S3 and T2 lens. (A) Distance, (B) Position (μm)

두께 증가량이 줄어들었다. 각막의 방향에 따른 두 종류의 렌즈를 비교에서도 T1렌즈는 각막 두께변화가 작지만 T2 렌즈는 변화량이 매우 크다. T2렌즈에서 변화량은 Table 3에서와 본 바와 같이 코 쪽, 귀 쪽, 아래 쪽, 그리고 위 쪽의 순서대로 감소하였다.

3) 함수율에 따른 각막의 형태 변화

함수율이 38%로 같은 Senofilcon A 재질의 S3 렌즈와 HEMA 재질인 T2 렌즈에 대한 각막의 두께 변화를 살펴보았다. 각막의 중심과 거리 및 방향에 따른 비교를 위하여 Fig. 7에 각각 실측값을 나타내었다. S3렌즈는 착용 전과 비교해서 많은 변화가 없었지만 T2렌즈에서는 두께가 많이 증가되었다. 이 변화는 각막 중심에서의 거리나 방향에 상관없이 둘 다 거의 비슷한 양상을 보였다.

4. 각막 곡률 및 굴절력의 변화

수직과 수평경선을 비교해 보면 수직이 수평보다 약 1D정도 크게 나타나며, 착용전과 비교했을 때는 거의 변화가 없다. 한편 각 재질에 따른 곡률 변화를 살펴보면, 두드러지게 증가되거나 감소되지 않으며 거의 비슷한 값으로 나타났다(Fig. 6).

구면굴절력의 변화 정도는 착용 전에 비해 원시 교정용 렌즈인 S2렌즈에서는 근시 정도가 감소한 반면 나머지 4개의 렌즈 즉, S1, S3, T1, 그리고 T2렌즈는 모두 증가한 것으로 나타났다. 특히 S1과 T2렌즈에서는 근시정도가 더욱 증가하였다. 한편 실린더굴절력은 모든 렌즈에서 굴절력의 값이 줄어들어 난시 정도를 완화시킨 것으로 나타났다. 특히 T2렌즈에서의 난시변화는 착용 전의 -1.00 D에서 8시간 착용 후 -0.86 D로 약 0.14 D 만큼의 난시를 감소시키는 것으로 나타났다(Table 3).

5. 고위 수차 변화

재질에 따른 수차 변화를 살펴보기 위해 콘택트렌즈 착용 전후의 전체 고위수차(HOA), 구면수차(SA), 코마수차(CA)를 측정하였으며 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 고위수차는 T1렌즈에서 0.39로 착용전의 0.34보다 약 0.05만큼의 변화를 나타냈다. 구면수차의 경우, 5종류의 렌즈 중 T2렌즈에서 0.07로 착용 전에 비해 0.02의 변화를 보이나 다른 4종류의 렌즈에서는 0.04~0.05로 거의 변화가 나타나지 않았다. 코마수차는 T1렌즈에서 약간의 증가함을 보이나 나머지 4종의 렌즈에서는 착용전과후의 변화가 거의 없었다. 재질에 따른 각 수차의 변화는 거의 없었으

Table 4. Changes of corneal HOA between pre- and post-wearing C/L (μm)

	HOA ^a		SA ^b		CA ^c	
	After 8hr	Variation	After 8hr	Variation	After 8hr	Variation
Pre	0.34 ± 0.14		0.05 ± 0.05		0.13 ± 0.08	
S1	0.36 ± 0.13	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0.03	0.01 ± 0.02	0.15 ± 0.07	0.02 ± 0.01
S2	0.36 ± 0.12	0.02 ± 0.02	0.04 ± 0.03	0.01 ± 0.02	0.14 ± 0.06	0.01 ± 0.02
S3	0.35 ± 0.14	0.01 ± 0.00	0.05 ± 0.04	0.00 ± 0.01	0.13 ± 0.09	0.00 ± 0.01
T1	0.39 ± 0.15	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.05	0.00 ± 0.00	0.16 ± 0.09	0.03 ± 0.01
T2	0.35 ± 0.13	0.01 ± 0.01	0.07 ± 0.08	0.02 ± 0.03	0.14 ± 0.07	0.01 ± 0.02

^aHigher Order Aberration^bSpherical Aberration^cComa Aberration

며 T1렌즈에서 고위수차와 코마수차가 약간 상승하는 경향을 보였다.

고 찰

1. 각막 중심에서의 거리와 방향에 따른 각막의 형태 변화

각막의 중심부의 경우, 다른 부위에 비해 착용 후 가장 많은 두께 증가 현상이 나타내었으며, 방향에 따라서 코쪽, 귀 쪽, 아래 쪽, 위 쪽 순으로 증가 하였다. 특히 T2렌즈의 경우는 다른 4종류의 콘택트렌즈보다 각 부위별 두께가 크게 증가했다. 각막의 중심 및 방향과 거리에 따른 두께의 변화는 렌즈 착용 전후를 비교한 결과, 58%의 동일 함수율을 가진 S1과 S2 렌즈는 거의 변함이 없었으나 38%의 동일함수율을 가진 S3와 T2렌즈를 비교하면 많은 차이를 보였다. Etafilcon 재질의 S1렌즈에서는 중심부 0.62%, 3 mm zone 0.26%, 5 mm zone 0.36%, 7 mm zone 0.41%의 매우 작은 변화량을 보인 반면 HEMA 재질의 T2렌즈에서의 각막 중심부 두께는 6.27%, 3 mm zone 5.79%, 5 mm zone 4.77%, 7 mm zone 3.80%의 변화가 발생하였다. 각막은 각종 각막질환에 의해 두께차이가 나타남으로써 각막의 건강상태를 알려주는 지표로서의 기능을 가지고 있으므로, 대사 기전에 이상이 생기거나 상피와 내피가 손상을 받으면 밖으로부터 수분을 흡수하여 두께가 두꺼워지는 각막부종이 발생하게 된다.^[17] 따라서 콘택트렌즈를 착용하였을 때는 이러한 대사를 원활하게 수행할 수 없게 되고 그 결과로 각막부종이 나타난다. 일반적으로 부종으로 인한 각막의 두께 증가의 정도는 대상에 따라 3.6~12.2%로 나타난다.^[18,19] 본 연구의 결과는 기존 연구결과와 유사하게 나타났다. T2렌즈와 동일한 함수율의 Senofilcon A 재질의 S3렌즈에서는 중심부 -0.01%, 3 mm zone 0.1%, 5 mm zone -0.04%, 7mm zone 0.08%로 미미한 변화를 나타냈다. 이는 S1, S2렌즈는 동일 함수율과 동

일재질의 Etafilcon이지만 S3렌즈와 T2렌즈는 동일 함수율이며 각기 다른 재질의 Senofilcon과 일반 HEMA재질이기 때문이다. S3렌즈는 산소투과율이 높은 실리콘 하이드로겔 재질이며 T2렌즈는 Dk와 Dk/t가 현저히 낮은 하이드로겔 렌즈이기 때문이며, 이 결과는 산소가 각막대사에 영향을 미침으로서 각막에 많은 영향을 미치고 있다는 기존의 연구와 일치됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 함수율의 차이가 각막의 중심, 중심에서의 거리, 그리고 방향성에 따른 두께 변화에 거의 영향을 주지 않으며, 산소투과성에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

2. 함수율에 따른 각막의 형태 변화

콘택트렌즈의 함수율은 착용감과 산소공급량에 영향을 많이 주고 있으므로 함수율의 차이에 따라 각막에 미치는 영향도 달라질 수 있다. 따라서 함수율이 각막의 형태에 어떤 영향을 미칠지를 살펴보기 위해 5종의 콘택트렌즈 즉, 38% 2종, 47% 1종, 58% 2종에 대한 콘택트렌즈를 살펴보았다.

산소공급이 감소하여 산소가 위험수준 이하로 감소하면 호기성 대사의 감소로 실질 젖산이 축적되고 상피의 신진 대사 속도가 저하되며 상피의 젖산 생산이 증가하여 각막 내피의 다면성, 상피 미세낭종, 각막부종, 침윤성 각막염 및 미생물에 의한 각막염을 촉진하고, 실질의 젖산 축적과 내피의 팽창작용 감소로 인해서 각막의 부종을 증가시킨다. 또한 눈을 뜨고 있을 때 각막의 산소 분압은 약 155 mmHg 이상이며, 눈을 감고 있을 때는 약 60 mmHg로^[20] 눈을 뜨고 있을 때의 약 삼분의 일에 해당한다. 각막표면의 적은 산소 흐름의 결과 각막의 산소 소비량은 40 mmHg로 감소한다.^[21] 이로 인해 저산소증이 발생하고 각막의 두께, 눈물층의 불안정 및 신생혈관 등 다양한 질환이 발생하게 된다. 따라서 함수율에 따른 각막의 형태 변화는 동일 함수율을 가진 콘택트렌즈라고 해도 각막에 미치는 영향이

동일하지 않음을 알 수 있으며 산소투과성이 각막의 두께 변화에 많은 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

함수율에 따른 각막의 곡률변화를 살펴보면 수직, 수평 경선과 Sim-K, 후면각막곡률 모두 거의 변화가 없었다. 각막두께의 경우, T2렌즈에서 많은 변화를 나타내었지만 곡률변화에서는 이와 같은 현상이 나타나지 않았으며 함수율이 같은 58%의 S1, S2와 38%인 S3, T2렌즈 모두 비슷한 값으로 함수율과 재질에 대한 영향은 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

3. 굴절력에 따른 각막의 형태 변화

각막의 중심부가 약 6.27%증가하여 다른 부위보다 많이 증가한 것으로 나타났으며, 다음으로 코 쪽, 귀 쪽, 아래 쪽, 위 쪽 순으로 증가 하였다. T2렌즈의 경우는 다른 4 종류의 콘택트렌즈보다 각 부위별 두께가 많이 증가했다. 굴절력이 다른 +3.00 D, -3.00 D을 가진 Etafilcon A인 S1, S2렌즈와 -3.00 D로 같은 굴절력을 가지면서 다른 재질의 Etafilcon A, senofilcon A의 S2와 S3렌즈에 대해 각막의 형태를 비교하여 굴절력에 따른 변화를 살펴보았다. 그 결과 콘택트렌즈를 착용전과 후를 비교하면 3종류의 렌즈 각각에서 각막의 중심에서의 두께와 방향 및 거리에서의 변화량이 거의 없었음을 알았다. 따라서 굴절력이 각막의 형태에 미치는 영향은 없다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 재질에 따른 각막의 형태 변화

재질의 차이에 따른 각막 형태의 변화를 살펴보기 위해 하이드로겔 재질인 Etafilcon A인 S1, S2렌즈와 T2렌즈, 실리콘 하이드로겔 재질인 senofilcon A인 S3렌즈, galyfilcon A인 T1렌즈를 비교하여 Table 3~8 그리고 그림 5~9까지 나타내었듯이 S1, S2, S3, 그리고 T1렌즈에서는 각막의 두께와 곡률의 변화가 거의 없거나 많이 크지 않았다. 그러나 T2렌즈에서는 각막 중심을 비롯한 각막중심에서의 거리와 각막에서의 방향 등 모든 영역에 있어서 다른 4종류의 변화량에 비해 월등히 높은 변화를 보였다. 이것은 콘택트렌즈의 재질 차이나 굴절력, 그리고 디자인의 차이로 볼 수 없었다. T2렌즈에서만 이렇게 각막의 형태가 많이 변하는 것은 산소투과와 관련이 있다는 것을 알았다.

일반적으로 각막의 생리적 변화는 다양한 렌즈 재질과 착용패턴에 의해 발생한다. 또한 이러한 변화는 중심 각막의 곡률 변화, 규칙 또는 불규칙 난시의 변화와 Optical higher order aberrations의 변화를 가져온다고 알려져 있다.^[22]

콘택트렌즈의 재질에서 가장 중요한 물성 중 하나는 산소 침투성(Oxygen permeability, Dk)과 산소 투과성

(Oxygen transmissibility, Dk/t)이다. 정상적인 각막에 필요한 산소 분압은 75 mmHg로,^[9,23] 연속착용 소프트 콘택트렌즈는 저산소증과 부종을 방지하기 위해서는 75~89 Dk/t가 필요하며 매일 착용 소프트 콘택트렌즈는 부종방지를 위해서 20~34 Dk/t가 필요하다고 알려져 있다.^[9,10] 일반적으로 높은 산소전달률을 가진 콘택트렌즈에서는 각막의 왜곡이 적다는 보고가 있다.^[24]

본 연구에서의 결과에서 보듯이 5종류의 렌즈 중에서 T2렌즈에서 특별히 각막의 두께 및 각막의 형태에 많은 변화를 나타내는 것은 지금까지의 기존 연구를 바탕으로 볼 때 산소투과율과 밀접한 관련성이 있음을 알 수 있다. 그리고 단기 착용에서는 저산소증에 의해서 각막의 두께가 증가하며 높은 산소 전달율을 가진 콘택트렌즈에서는 각막의 왜곡이 적었다는 보고^[19]와 본 연구 결과가 일치함을 알 수 있었다. Dk/t 값이 33이상인 S1, S2, S3, 그리고 T1 렌즈에서는 각막의 형태가 크게 변하지 않았으나 Dk/t 값이 8인 T2 렌즈에서는 매우 큰 변화를 나타낸 것으로 보아 T2렌즈의 산소투과성이 낮기 때문인 것으로 판단된다.

5. 고위수차와 굴절력 변화

각막 두께의 변화에서는 앞에서 살펴본 바와 같이 T2렌즈에서 두드러진 변화를 보였지만, 각막 곡률 변화는 다른 렌즈와 비슷한 값으로 나타났다. 그리고 고위수차를 비교하면 구면수차의 경우 5종의 콘택트렌즈에서 변화가 거의 나타나지 않았지만 코마수차의 경우 T1렌즈에서 약간 증가함을 보인다. 이러한 결과로 산소투과율이 고위수차에는 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 또한 각막의 두께 변화와 수차 사이에도 연관성이 없음을 볼 수 있다. 고위수차는 콘택트렌즈의 재질, 굴절력, 함수율, 그리고 디자인의 차이에 따른 변화가 별로 없었음을 볼 수 있다. 구면수차를 제거한 비구면 렌즈에서는 HOA와 SA의 감소로 시력의 질이 향상된다는 보고도 있다.^[25]

구면굴절력에서 S1, S3, T1, 그리고 T2에서는 8시간 착용 후의 근시 정도가 증가한데 비해 S2렌즈는 +0.24 D만 큼의 근시 정도가 감소하였다. 특히 S1과 T2에서는 -0.36 D 그리고 -0.37 D 만 굴절력이 증가한 것으로 나타났다. 이는 S2렌즈는 원시용으로 근시용 렌즈보다 각막의 형태가 약간 평편해지도록 유도하기 때문일 것이다. 또한 S1과 T2렌즈에서 굴절력 증가정도가 S3와 T1렌즈보다 큰 것은 산소투과율이 작은 하이드로겔 렌즈와 산소투과율이 큰 실리콘하이드로겔 재질의 차이 때문일 것이다. 실린더 굴절력에서는 모든 렌즈에서 착용 전에 비해 착용 후 난시 굴절력이 감소하였다. 특히 T1렌즈에서 가장 난시 굴절력이 줄어든 것으로 나타났다.

결 론

소프트 콘택트렌즈 사용에 의한 각막의 두께변화는 산소투과가 낮은 하이드로겔 재료의 소프트 콘택트렌즈(T2 lens)에서 증가하는 경향이 두드러지게 나타났다. 각막 중심에서의 거리에 따른 두께 변화는 각막 중심에서 가장 많이 증가 하였으며 중심에서 가장자리로 갈수록 변화율이 감소하였음을 알 수 있었다. 또한 각막 중심에서 떨어진 방향에 따른 두께 변화는 코 쪽이 가장 많이 증가하였으며 귀 쪽, 위 쪽, 그리고 아래 쪽 순서로 두께 상승 폭이 줄어들었다. 구면 굴절력과 난시의 변화를 비교하여 보면, 구면 굴절력은 원시렌즈인 S2 렌즈를 제외한 나머지 렌즈에서 증가하는 반면 난시는 전체적으로 감소하는 경향을 보였다. 각막곡률과 고위수차도 통계적으로 유의한 변화는 없었다.

함수율, 디자인, 굴절력, 그리고 재질이 각기 다른 5종의 렌즈에 대한 각막두께, 각막곡률, 굴절력의 변화를 확인해 본 결과, Dk/t 33 이상인 4종의 콘택트렌즈에서는 각막곡률과 굴절력, 고위수차가 크게 변하지 않은 반면 산소투과도가 매우 낮은 Dk/t 8인 T2 렌즈에서 각막두께가 크게 변하였다. 이로써 콘택트렌즈의 각막형태 변화에 영향을 미치는 요소는 산소투과도가 가장 크다는 것을 확인하였으며, 단기 착용용 콘택트렌즈에서는 Dk/t 33 이상인 렌즈를 착용할 경우 각막변화에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012-0004663).

REFERENCES

- [1] Park SH, Kim SR, Park MJ. The effect of circle lens and soft contact lens with identical material in clinical application on the eyes. *J Korean Oph Opt Soc.* 2011;6(2):147-157.
- [2] Kwak CH, Park MY, Tchah HW. Experimental 24 Hour Corneal Swelling by Extended Wear Contact Lenses. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1991;32(2):149-153.
- [3] Lee DK, Choi SK, Song KY. Clinical Survey of Corneal Complications Associated with Contact Lens Wear. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1994;35(8):895-901.
- [4] Foulks GN. What is Dry Eye and What Does it Mean to the Contact Lens Wearer?. *Eye Contact Lens.* 2003;29(1):S96-100.
- [5] Lee KJ, Buyn JW, Mun MY, Leem HS. The Relationship between Habitual Patient-Reported Symptoms and Signs in the Soft Contact Lens Wearers. *J Korean Oph Opt Soc.* 2008;13(3):19-28.
- [6] Polse KA. Tear Flow under Hydrogel Contact Lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1979;18(4):403-413.
- [7] Smelser GK, Chen DK. Physiological Changes in Cornea Induced by Contact Lenses. *AMA Arch Ophthalmol.* 1955;53(5):676-679.
- [8] Bruce A, Brennan N, Lindsay R. Diagnosis and Management of Ocular Changes During Contact Lens Wear, Part 1. *Clin Signs Ophthalmol.* 1995;16(4):2-11.
- [9] Holden BA, Mertz GW. Critical Oxygen Levels to Avoid Corneal Edema for Daily and Extended Wear Contact Lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984;25(10):1161-1167.
- [10] Harvitt DM, Bonanno JA. Re-Evaluation of the Oxygen Diffusion Model for Predicting Minimum Contact Lens Dk/T Values Needed to Avoid corneal Anoxia. *Optom Vis Sci.* 1999;76(10):712-719.
- [11] Efron N. Re-Thinking Extended Contact Lens Wear. *Ophthalmic physiol Opt.* 1998;18(3):241-242.
- [12] Shin YJ, Moon JW, Wee WR. Corneal Neovascularization and Corneal Hypesthesia as Contact Lens Complications. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2006;47(1):25-30.
- [13] Larke JR, Humphreys JA, Holmes R. Apparent Corneal neovascularization in soft lens wearers. *J Br Contact Lens Assoc.* 1981;4(3):105-106.
- [14] Majeti NV, Ravi Kumar. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive & Functional Polymers.* 2000;46(1):1-27.
- [15] Read SA, Collins MJ. Diurnal Variation of Corneal Shape and Thickness. *Optom Vis Sci.* 2009;86(3):170-180.
- [16] Wang J, Fonn D, Simpson TL. Topographical thickness of the Epithelium and Total Cornea after Hydrogel and Pmma Contact Lens Wear with Eye Closure. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003;44(3):1070-1074.
- [17] Ehlers N, Hansen FK. Further data on biometric correlations of central corneal thickness. *Acta Ophthalmol Scand.* 1976;54:774-778.
- [18] Sarver MD, Polse KA, Baggett DA. Intersubject difference in corneal edema response to hypoxia. *Am J Optom Physiol Opt.* 1983;60(2):128-131.
- [19] Efron N. Intersubject variability in corneal swelling response to hypoxia. *Acta Ophthalmol.* 1986;64(3):302-305.
- [20] Fatt I. Steady-State Distribution of Oxygen and Carbon Dioxide in the in Vivo Cornea. *The Open Eye in Nitrogen and the Covered Eye Exp Eye Res.* 1968;7(3):413-430.
- [21] Liesgang TJ. Physiologic changes of the Cornea with Contact Lens Wear. *CLAO j.* 2002;28(1):12-27.
- [22] Lu F, Mao X, Qu J, Xu D, He JC. Monochromatic Wavefront Aberrations in the human Eye with Contact Lenses. *Optom Vis Sci.* 2003;80(2):135-141.
- [23] Brennan NA, Efron N, Carney LG. Critical Oxygen Requirements to Avoid Oedema of the Central and Periph-

- eral Cornea. Acta Ophthalmol (Copenh). 1987;65(5):556-564.
- [24] Polse KA, Rivera RK, Bonanno J Ocular effects of hard gaspermeable-lens extended wear. Am J Optom Physiol Opt. 1988;65(5):358-364.
- [25] Kim JM, Mun MY, Kim YC, Lee KJ. Change of Spherical Aberration with Aspheric Soft Contact Lens Wear. J Korean Oph Opt Soc. 2012;17(4):365-372.

Change of Corneal Shape with Soft Contact Lens Type

Chul-min Woo^{1,2} and Hyun Mee Lee^{1,2,*}

¹Dept. of Optometry & Vision Science, Catholic University of Daegu, Kyungsan 712-702, Korea

²Institute for Eye-functional Promotion, Catholic University of Daegu, Kyungsan 712-702, Korea

(Received January 31, 2014; Revised March 4, 2014; Accepted March 15, 2014)

Purpose: This study was to investigate changes in the thickness of cornea, curvature of cornea, and aberration depending on the water contents, materials, and refractive power of contact lens. **Methods:** The differences in the corneal thickness between pre- and post-wearing the lenses were compared using 5 kinds of lenses. The changes in the corneal thickness, the curvatures of the anterior and posterior cornea, and high order aberration (HOA) before and after wearing the lenses were investigated at the center of the cornea, and the different distance and the direction away from the center of the cornea. For the equipments of measurement, ORB ScanII (Bausch & Lomb Inc, ver 3.14) was used to measure the corneal topography and thickness, and Zywave (Bausch & Lomb Inc, ver 5.20) was used to analyze the high order aberration. **Results:** Five (S1, S2, S3, T1, T2) of the lens was used for this study, excluding the lens T2 lens has four lenses and the thickness of the corneal shape, but the impact is minimal. In the case of the hydrogel soft contact lenses (T2 lens) with low oxygen permeability, the corneal thickness showed distinct increasing patterns. The high order aberration and coma aberration were most changed in the silicon hydrogel toric lens, while the depth of anterior was most changed in the hydrogel toric lens. **Conclusion:** Among the 5 kinds of contact lenses with different water contents, materials, and refractive power used for this study, the corneal shape change was small for the lenses with an oxygen permeability (Dk) of more than 28, and the largest for the lenses with a very low oxygen permeability.

Key words: Contact lens, Corneal thickness, Higher order aberrations, Oxygen permeability, Water contents