



Correlation between Protein Deposition and Oxygen Transmissibility in Circle Contact Lenses

Kyounghee Park¹, So Ra Kim², and Mijung Park^{2,*}

¹Dept. of Optometry, Kookje University, Professor, Pyeongtaek 17731, Korea

²Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Professor, Seoul 01811, Korea

(Received February 18, 2019: Revised March 13, 2019: Accepted March 20, 2019)

Purpose: This study investigates the correlation between the amount of tear protein deposited on circle contact lenses (hereinafter circle lenses) and oxygen transmissibility. **Methods:** Clear and circle etafilcon A lenses (manufactured using the sandwich method), clear and circle hilafilcon B lenses (manufactured using the micro-encapsulation method), and two polymacon circle lenses (manufactured using the sandwich method) were incubated in artificial tears to deposit protein, and their oxygen transmissibility was compared by employing the polarographic method. **Results:** All the tested contact lenses showed the same correlation, wherein oxygen transmissibility decreased as protein deposition increased. However, the degree of decrease in oxygen transmissibility differed according to the lens material and pigmentation method. That is, the clear and circle etafilcon A lenses showed a similar decrease in oxygen transmissibility. However, the hilafilcon B lenses showed a greater decrease for the circle lens. A comparison of the polymacon-I and polymacon-II lenses, which were manufactured by different companies, showed that the difference of decrease in oxygen transmissibility was relatively large despite the fact that they were reportedly made using the same material and technique. **Conclusions:** The results of this study suggest that the decrease in oxygen transmissibility induced by deposition of tear protein may be affected not only by the material properties but also by the differences in the pigmentation process caused by the methods used to produce the lenses.

Key words: Oxygen transmissibility, Tear protein deposition, Circle contact lens, Pigmentation method

서 론

미용을 목적으로 사용되는 컬러 소프트콘택트렌즈(이하 써클렌즈)의 산소투과도, 함수율 등과 같은 주요 파라미터에 대해 제조사에서는 동일 재질의 일반 투명 소프트콘택트렌즈(이하 투명렌즈)와 동일하다고 고지하고 있으나 착용자들은 써클렌즈 착용 시 순목뾰수 증가, 중심안정 불량 및 이물감, 충혈 등의 불편함을 호소하는 경우가 많다.^[1] 소프트콘택트렌즈(이하 소프트렌즈) 착용자들이 평균 13~14시간 이상 렌즈를 착용하고 있으며^[2] 선행연구에서 써클렌즈 착용 시 건성안의 경우 10시간 이상 착용 시 렌즈착용의 불편감으로 인해 착용을 중단한 경우가 연구대상자의 36%였으며^[3] 정상안의 경우는 15시간 이상 착용 시 30%가 불편감으로 인해 착용을 중지하였다.^[4] 최근 개발된 써클렌즈는 8시간 이상 착용이 가능한 일회용 일일착용렌즈들이지만 여전히 착용시간이 일반 소프트렌즈의 절반 수준인 4시간 이내 착용이 권장되고 있는 병렌즈 형태의 써클렌즈가

사용되고 있음에도 이러한 렌즈 착용자의 67% 정도가 하루에 6시간 이상을 착용하고 있는 것으로 보고된 바 있다.^[5]

써클렌즈는 일반 투명렌즈가 가지고 있는 재질 특성을 그대로 가지고 있어 부작용이나 착용시에 발생할 수 있는 렌즈의 변화들이 그대로 나타나므로 미생물 각막염, 이물감, 충혈, 안구 건조증 등과 같은 부작용들이 써클렌즈 착용에도 그대로 유발될 수 있다.^[6,7] 일반 투명렌즈를 대상으로 착용 시 유발될 수 있는 여러 파라미터 변화에 대한 연구들이 진행되어, 많은 파라미터에서 착용 전과 비교하여 통계적으로 유의한 변화가 나타났고, 변화의 정도가 렌즈의 재질에 따라 다르다고 보고되었다.^[8,9] 여러 소프트렌즈 파라미터 중 부작용 관점에서 많은 관심의 대상이 되고 있는 산소투과율도 삼투압이나 pH와 같은 생리적 환경의 변화에 의해서 변화되며^[10] 눈물 단백질의 침착에 의해서도 영향을 받는다.^[11]

제조사에서는 써클렌즈의 파라미터를 투명렌즈 재질과 동일한 값으로 고지하고 있지만 써클렌즈는 제조사마다 다

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

본 논문의 일부내용은 2013년도 한국안광학회 하계학술대회에서 구연발표되었음.

양한 재질 및 염색제, 염색공법을 사용하여 제조되고 있다. 써클렌즈 역시 투명렌즈와 유사한 변화가 나타날 것으로 예측할 수 있겠으나 실제 여러 연구에서 써클렌즈와 투명렌즈가 완전히 동일한 재질 특성을 가지지 않는다는 것이 보고되고 있다. 즉, 샌드위치 공법으로 제조된 써클렌즈일지라도 표면이 더 거칠고,^[12] 써클렌즈 표면 및 내부의 친수성 정도가 투명렌즈와 다르며,^[13] 균이 흡착되는 정도에서 차이가 있음이 보고된 바 있어,^[14,15] 착색성분의 표면 혹은 내부의 포함으로 인해 써클렌즈와 투명렌즈의 물성이 달라질 가능성이 크다고 보여 진다. 특히, 써클렌즈와 투명렌즈의 표면 및 내부의 친수성 차이는 눈물 단백질의 침착량의 차이를 유발하게 될 가능성이 크며 그로 인하여 산소투과도에 미치는 영향이 달라질 가능성이 있을 것으로 보인다.

따라서, 본 연구에서는 써클렌즈에 눈물 단백질이 침착되었을 때 산소투과율의 변화 정도를 렌즈의 재질별로 알아보고 선행 연구에서 보고된 바 있는 투명렌즈의 산소투과율 변화 정도와 비교하여 착색으로 인한 써클렌즈의 특성 변화에 대해 알아보하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 콘택트렌즈

본 연구에서 사용된 콘택트렌즈는 총 6종이었다(Table 1).

재질별 차이를 알아보기 위해 샌드위치 공법의 etafilcon A 재질의 써클렌즈(4군, 고함수 이온성)와 micro-encapsulation 공법의 hilafilcon B 재질 써클렌즈(2군, 고함수 비이온성) 및 제조사에서 샌드위치공법이라고 명시한 polymacon 재질의 써클렌즈(1군, 저함수 비이온성)를 비교하였다. 동일 재질 및 동일 착색 공법인 것으로 제시되어 있지만 제조 및 착색과정에서의 차이에 의한 변화 정도를 비교해보기 위해 동일 polymacon 재질의 제조사가 다른 두 렌즈를 실험대상으로 하였다. 또한, 착색여부에 따른 차이를 비교하기 위해 etafilcon A 및 hilafilcon B 재질 투명렌즈의 산소투과율을 측정하여 비교하였다. 실험에 사용된 렌즈는 모두 -3.00 D로 일정하였다.

2. 눈물 단백질 침착 및 정량

인공눈물은 0.01 M 인산완충액(pH 7.4) 100 ml에 알부민(bovine serum albumin, Amresco Co., USA) 0.54 g, 라이소자임(lysozyme EGG white, Amresco Co., USA) 0.18 g, 글로불린(γ -globulins from bovine blood, Sigma, USA) 0.18 g, 뮤신(Sigma, USA) 0.18 g, CaCl₂(Sigma, USA) 0.001 g을 용해하여 제조한 즉시 사용하였다.^[11]

렌즈 재질 특성에 따라 단백질 침착량이 크게 달라서 동일 시간동안 노출하였을 때 단백질 침착량의 차이가 100배 이상 차이가 날 수 있어^[16] 유사한 단백질 침착량 범위내의

Table 1. Specifications of soft contact lenses used in the present study

Brand name	Acuvue Moist	Acuvue Define	Soflens	NATURELLE	Aryan	Dali
USANC ^a name	Etafilcon A	Etafilcon A	Hilafilcon B	Hilafilcon B	Polymacon	Polymacon
Manufacturer	Johnson & Johnson	Johnson & Johnson	Bausch +Lomb	Bausch +Lomb	MIKGANG	Neo Vision
Monomer	pHEMA ^b +MAA ^c	pHEMA ^b +MAA ^c	pHEMA ^b +NVP ^d	pHEMA ^b +NVP ^d	pHEMA ^b	pHEMA ^b
FDA Group category	IV	IV	II	II	I	I
Clear or Circle(Tinted)	Clear	Circle	Clear	Circle	Circle	Circle
Tinting method	-	Sandwich	-	Micro-encapsulation	Sandwich	Sandwich
Replacement schedule	Daily disposable	Daily disposable	Daily disposable	Daily disposable	6 Month	6 Month
Oxygen transmissibility ^e	33	33	22	22	9	29
Base curve(mm)	8.5	8.5	8.6	8.6	8.4	8.6
Diameter (mm)	14.2	14.2	14.2	14.2	14.0	14.0
Center thickness at -3.00 D (mm)	0.084	0.084	0.09	0.09	0.09	0.035

^aUnited States Adopted Name Council

^bpHEMA: Poly-2-hydroxyethyl methacrylate

^cMAA: Methacrylic acid

^dNVP: N-vinyl pyrrolidone

^eOxygen transmissibility, Dk/t $\times 10^{-9}$ (cm²/s) (mL O₂/ml \times mmHg)

비교를 위해 렌즈 재질에 따라 인공눈물에서의 노출시간을 달리하였다. Etafilcon A 재질 렌즈는 1, 4, 8, 24 및 48시간 동안, hilafilcon B 재질 렌즈는 1, 24, 48 및 72시간 동안, polymacon 재질 렌즈는 1, 3, 5, 7 및 9일 동안 인공눈물에서 50 rpm의 속도(진탕기, shaker, CR300, FINEPCR, Korea)로 노출시켰다. 소프트렌즈에 침착된 단백질은 250 µl의 추출용매(SDS 완충용액: 2% sodium dodecyl sulfate, 0.1% dithiothreitol, 0.01 M Tris buffer, pH 8)에 넣고 95°C로 15분간 가열한 후 상온에서 20분 동안 식혀서 추출하였으며, Lowry방법을 이용하여 정량하였다.^[17]

3. 산소투과율 측정

산소투과율을 폴라로그래픽(polarographic) 방법으로 측정하였다.^[18] 0.9% 식염수에 담긴 콘택트렌즈와 폴라로그래픽 셀 등을 항온항습기(WTH-E 155, Wisecube, Korea, 습도 95%, 온도 35°C)에 넣고 6시간 이상 평형상태를 유지시킨 후 permeometer(Model 201T O₂ permeometer, CHREATECH, USA)를 이용하여 전류값을 측정하였다. 렌즈의 중심두께는 electronic thickness gauge(Model ET-3, CHREATECH, USA)를 이용하여 측정하였다. 동일한 재질의 렌즈 전류값은 4번씩 반복 측정하였고, 모든 방법은 국제 표준화 기구인 ISO(International Organization for Standardization)의 기준에 따랐다.

4. 통계분석

각 실험마다 렌즈별로 5개 이상의 렌즈를 사용하였으며, 실험결과는 평균±표준편차로 표시하였다. 결과 값은 독립표본 T 검정과 분산분석을 실시하여 p<0.05 일 때 통계적으로 유의하다고 판정하였다. 또한 써클렌즈의 단백질 침착량과 산소투과율 변화 양상의 차이는 선형회귀분석을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. Etafilcon A 재질 렌즈에 침착된 단백질량과 산소투과율의 상관관계

인공눈물에 노출되지 않은 etafilcon A 재질 투명렌즈의 산소투과율은 $34.30 \times 10^{-9} (\text{cm}^2/\text{s})(\text{ml O}_2/\text{ml} \times \text{mmHg})$ 였고, 동일한 재질의 써클렌즈인 etafilcon A-tinted 렌즈는 $32.70 \times 10^{-9} (\text{cm}^2/\text{s})(\text{ml O}_2/\text{ml} \times \text{mmHg})$ 로 인공눈물에 노출되기 전의 투명렌즈와 써클렌즈 간에 차이가 거의 없었으며, 통계적으로도 유의한 차이가 아니었다(Fig. 1).

인공눈물에 노출되기 전의 산소투과율을 기준으로 하여 침착 단백질량과 산소투과율의 상대 비를 알아보았다. Etafilcon A 재질 투명렌즈가 인공눈물에 1시간 노출되었을

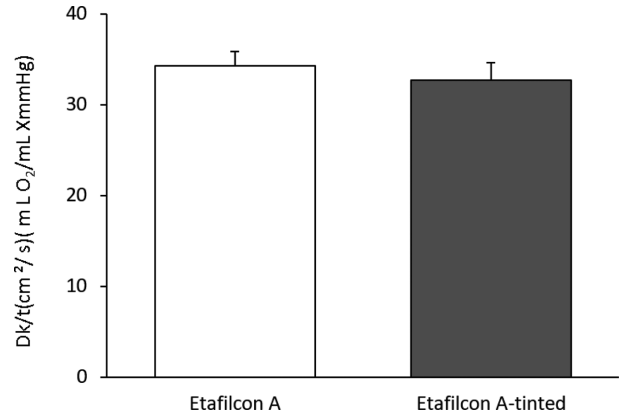


Fig. 1. Measured Dk/t of etafilcon A lenses not incubated in artificial tears.

때 침착 단백질량은 $718.11 \pm 47.26 \mu\text{g}/\text{lens}$, 산소투과율 감소는 1.3%, 4시간 노출되었을 때는 각각 $1206.68 \pm 194.85 \mu\text{g}/\text{lens}$, 20.4%, 8시간 노출되었을 때는 각각 $1280.07 \pm 311.73 \mu\text{g}/\text{lens}$, 22.8%, 24시간 노출되었을 때는 각각 $1743.96 \pm 245.07 \mu\text{g}/\text{lens}$, 23.1%, 48시간 노출되었을 때는 각각 $1925.02 \pm 217.75 \mu\text{g}/\text{lens}$, 31.7%로 인공눈물 노출시간이 증가함에 따라 침착 단백질량이 증가하였으며, 산소투과율은 통계적으로 유의하게 감소하였다(p=0.000). Etafilcon A 렌즈에 침착되는 단백질량이 $1206.68 \pm 194.85 \mu\text{g}/\text{lens}$ 일 때까지 산소투과율이 급격하게 감소하였으나 그보다 더 많은 양이 침착된 경우에는 산소투과율의 감소 정도가 둔화되었다(Fig. 2).

Etafilcon A 재질 써클렌즈는 인공눈물에 1시간 노출 시 침착 단백질량은 $758.08 \pm 82.47 \mu\text{g}/\text{lens}$, 산소투과율 감소비는 6.2%, 4시간 노출되었을 때는 각각 $1366.77 \pm 256.66 \mu\text{g}/\text{lens}$, 17.6%, 8시간 노출되었을 때는 각각 $1375.29 \pm 99.15 \mu\text{g}/\text{lens}$, 19.5%, 24시간 노출되었을 때는 각각 $1756.41 \pm 535.44 \mu\text{g}/\text{lens}$, 23.5%, 48시간 노출되었을 때는 각각 $2183.17 \pm 127.39 \mu\text{g}/\text{lens}$, 30.5%로 단백질 침착량이 증가할수록 산소투과율이 통계적으로 유의하게 감소하였다(p=0.000). 투명렌즈와 마찬가지로

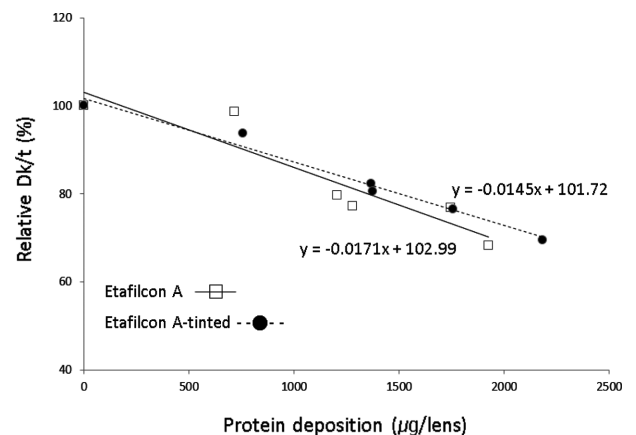


Fig. 2. Relationship between relative Dk/t and amount of protein deposition on etafilcon A lenses.

Table 2. Linear regression equation for relative Dk/t and protein deposited on contact lenses

USANC ^a name	Liner regression equation	R	Amount of protein deposited range (µg/lens)
Etafilcon A (clear)	$y = -0.0171x + 102.99$	0.933	357.09~2282.11
Etafilcon A (circle)	$y = -0.0145x + 101.72$	0.985	389.20~2572.36
Hilafilcon B (clear)	$y = -0.0241x + 95.700$	0.883	352.59~939.80
Hilafilcon B (circle)	$y = -0.0350x + 100.12$	0.995	388.31~971.30
Polymacon-I (circle)	$y = -0.0147x + 94.096$	0.883	755.76~1779.59
Polymacon-II (circle)	$y = -0.0336x + 94.481$	0.894	1044.3~1646.93

^aUnited States Adopted Name Council

지로 침착단백질량이 1366.77±256.66 µg/lens일 때 산소투과율이 급격하게 감소하였으나 그보다 더 많은 양이 침착된 경우 산소투과율 감소는 둔화되었다. 침착 단백질량이 거의 동일한 24시간의 산소투과율을 비교하였을 때 산소투과율 상대비는 투명렌즈가 23.1%, 써클렌즈가 23.5% 감소하여 착색유무가 산소투과율 상대비에 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

Etafilcon A 재질 렌즈에 침착되는 단백질양을 기준으로 하여 추세선을 그렸을 때 투명렌즈의 기울기는 -0.017, 상관계수 $r = 0.933$ 이고 써클렌즈의 기울기는 -0.015, 상관계수 $r = 0.985$ 로 두 렌즈 모두 침착 단백질량이 증가할수록 산소투과율이 감소하였다(Table 2). Etafilcon A 재질의 경우에 써클렌즈와 투명렌즈의 추세선 기울기와 상관관계가 거의 유사하게 나타났다(Fig. 2).

Etafilcon A 재질 렌즈는 고함수성, 이온성의 특성을 가져 FDA 및 ISO 소프트렌즈 분류 기준상 4군에 속하는 렌즈로 재질 특성상 주변 환경에 의해 렌즈 파라미터의 변화폭이 큰 편이다.^[19,20] 단백질 침착은 콘택트렌즈 표면 및 내부에 눈물과의 접촉면 변화를 유발하여 직경 및 곡률반경에 변화를 주는 것으로 알려져 있다.^[21] 산소투과율에 대한 변화 역시 선행 연구에 따르면 etafilcon 재질은 pH 농도와 완충계의 종류에 민감하게 반응하여 pH 5.8인 인산완충액에서 산소투과율이 30% 감소되었으며, 삼투압에 따라서도 영향을 받아서 고장액에서의 산소투과율이 17.8%까지 감소하는 것으로 보고되어^[9] 주변 환경에 의해 산소투과율이 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

Etafilcon A 재질 써클렌즈의 착색공법은 샌드위치 공법으로 내부에 염료가 있으며, 표면에는 염료가 노출되어 있지 않지만 Lorenz 등^[12]은 염료 침투 깊이를 알아보기 위해 써클렌즈 표면을 원자현미경(atomic force microscope)과 주사전자현미경(scanning electron microscope)으로 분석한 결과 RSM(response surface methodology)으로 나타내는 거칠기가 써클렌즈와 투명렌즈에서 다르며, 낮은 RSM은 높은 RSM에 비해 렌즈 표면이 부드러워 편안한

착용감을 준다고 밝혔다. 이러한 RSM의 차이는 단백질 침착량에 영향을 주어 결과적으로 산소투과율에도 영향을 미칠 가능성을 검토해 볼 필요가 있었다. 이를 위해 본 연구에서는 동일 재질이면서 샌드위치 공법으로 육안으로는 투명렌즈와 써클렌즈의 표면 차이가 나타나지 않은 etafilcon A 투명렌즈와 써클렌즈의 단백질 침착량과 산소투과율 감소 정도를 알아보았으며 본 연구 결과를 통해 착색여부에 따라 단백질 침착량과 산소투과율의 감소 폭과 변화 양상에서 다소 차이가 있다는 것을 밝혔다.

2. Hilafilcon B 재질 렌즈에 침착된 단백질량과 산소투과율의 상관관계

투명한 hilafilcon B 렌즈의 산소투과율은 21.78×10^{-9} (cm²/s)(mlO₂/ml×mmHg)이었고, 동일 재질 써클렌즈의 산소투과율은 20.07×10^{-9} (cm²/s)(mlO₂/ml×mmHg)로 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig. 3).

재질별 산소투과율의 변화비를 비교하기 위해 단백질 침착량과 산소투과율의 상대비를 알아보았다. Hilafilcon B 재질 투명렌즈가 1시간 동안 인공눈물에 노출되었을 때 단백질 침착량은 146.64±10.57 µg/lens, 산소투과율 감소비 3.4%, 24시간에는 각각 163.95±21.97 µg/lens, 7.2%, 48시간에는 각각 529.29±70.61 µg/lens, 18.6%, 72

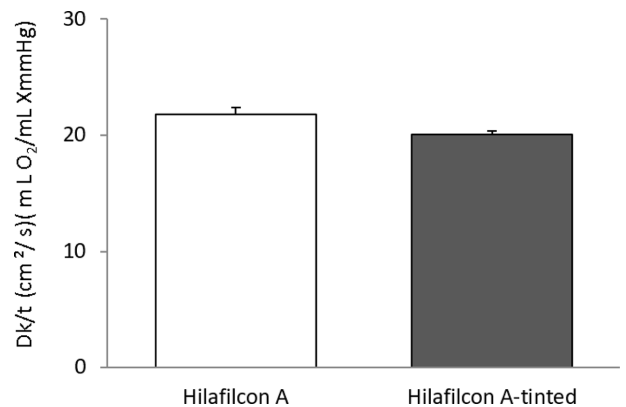


Fig. 3. Measured Dk/t of hilafilcon B lenses not incubated in artificial tears.

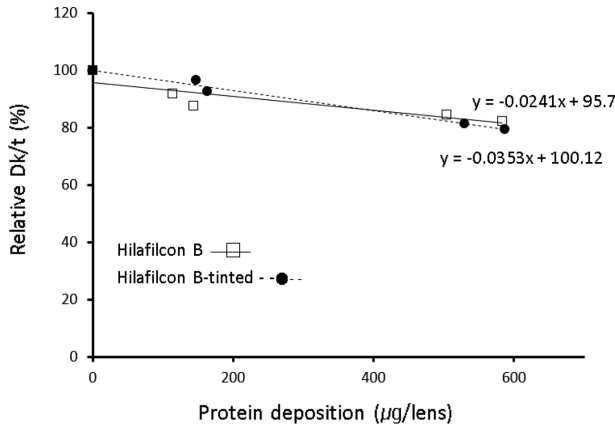


Fig. 4. Relationship between relative Dk/t and amount of protein deposition on hilafilcon B lenses.

시간에는 각각 $587.24 \pm 1.78 \mu\text{g/lens}$, 20.5%로 인공눈물 노출시간이 증가함에 따라 단백질 침착량이 증가하였고, 산소투과율도 통계적으로 유의하게 감소하였다($p=0.000$) (Fig. 4). Hilafilcon B 재질의 투명렌즈는 단백질 침착량이 $529.29 \pm 70.61 \mu\text{g/lens}$ 일 때 산소투과율이 더 큰 폭으로 감소하였다.

Hilafilcon B 재질 써클렌즈가 1시간동안 눈물에 노출되었을 때의 단백질 침착량은 $113.71 \pm 27.93 \mu\text{g/lens}$, 산소투과율의 감소비가 8.2%, 24시간은 각각 $143.32 \pm 39.56 \mu\text{g/lens}$, 12.4%, 48시간에는 각각 $504.46 \pm 70.23 \mu\text{g/lens}$, 15.5%, 72시간에는 각각 $582.99 \pm 46.32 \mu\text{g/lens}$, 17.8%이었다(Fig. 4). Etafilcon A 렌즈의 경우와 마찬가지로 재질 hilafilcon B 렌즈도 써클렌즈와 투명렌즈 모두 단백질 침착량이 증가할수록 산소투과율은 감소하였다. 침착된 단백질 침착량이 비슷한 $146.64 \pm 10.57 \mu\text{g/lens}$ 의 단백질이 침착된 투명렌즈와 $143.32 \pm 39.56 \mu\text{g/lens}$ 의 단백질이 침착된 써클렌즈의 산소투과율 감소비는 각각 3.4%, 12.4%로 단백질이 침착되는 초기에는 써클렌즈의 산소투과율 감소비가 더 컸다. 72시간동안 침착하여 단백질 침착량이 투명렌즈 $587.24 \pm 1.78 \mu\text{g/lens}$, 써클렌즈 $582.99 \pm 46.32 \mu\text{g/lens}$ 일 때 산소투과율 감소비는 각각 20.5%, 17.8%로 오히려 써클렌즈의 감소비가 더 작은 것으로 나타났다.

Hilafilcon B 재질 투명렌즈 및 써클렌즈에 침착되는 단백질량을 기준으로 하여 추세선을 그렸을 때 투명렌즈의 기울기는 -0.024 , 상관계수 $r=0.883$ 이며, 써클렌즈의 기울기는 -0.035 , 상관계수는 $r=0.995$ 이다. Etafilcon A 재질은 투명렌즈와 써클렌즈 간의 기울기 차이가 크지 않은 것에 비해 hilafilcon B 재질 렌즈의 경우 투명렌즈와 써클렌즈 간 차이가 더 컸다. 이것은 단백질이 침착 되는 속도의 차이가 산소투과율 감소에 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 이러한 결과는 hilafilcon B 재질 써클렌즈의 염료가 microencapsulation 공법으로 전면부에 부착된 형태이므로

샌드위치 공법인 etafilcon A 렌즈에 비해 단백질 침착 양상이나 산소투과율 감소정도가 달라 나타난 것으로 보인다.

써클렌즈의 염료가 들어있는 부분의 표면 거칠기를 나타내는 RMS(Root Mean Square)을 비교한 선행연구에서 microencapsulation 공법으로 전면부에 염료가 부착된 hilafilcon B 재질 써클렌즈의 경우 샌드위치 공법에 비해 렌즈 전면의 RMS와 peak-to-peak 차이가 약 6배 이상 거칠게 나타났다.^[11] 또한 이 렌즈의 주변부 부분(착색부분)에서 눈물막 깨짐이 더 많았으며 렌즈 종류에 따른 눈물막 안정성이 달라졌다.^[21] 박 등^[14,15]의 선행연구에서 황색포도상구균과 칸디다균 수는 렌즈 표면의 거칠기 보다는 재질의 특성에 영향을 받음을 밝혔다. 반면, Giraldez 등^[22]은 투명렌즈의 표면을 원자현미경으로 관찰한 결과 재질 표면의 거칠기와 균 흡착과 상관관계가 있다고 하였다. 지 등^[23]은 투명렌즈와 써클렌즈의 거칠기 차이가 초기 균의 흡착에 영향을 미친다고 하였다. 본 연구에서는 렌즈 전면부에 위치하는 염료 부착 방식인 hilafilcon B 재질의 렌즈가 표면이 매끄러운 투명렌즈와는 단백질 침착 양상이 달라지는 것으로 나타났으며, 이러한 차이가 산소투과율 감소에도 영향을 미치는 것으로 생각되어 진다.

3. Polymacon 재질 렌즈에 침착된 단백질량과 산소투과율의 상관관계

장기간 사용 가능한 재질인 polymacon-I 써클렌즈의 인공눈물에 노출되기 전 산소투과율은 $9.00 \times 10^{-9} (\text{cm}^2/\text{s})(\text{mlO}_2/\text{ml} \times \text{mmHg})$ 이었고, polymacon-II 써클렌즈는 $29.02 \times 10^{-9} (\text{cm}^2/\text{s})(\text{mlO}_2/\text{ml} \times \text{mmHg})$ 였다(Fig. 5).

Polymacon-I 써클렌즈가 1일 동안 인공눈물에 노출되었을 때의 단백질 침착량은 $5.12 \pm 7.77 \mu\text{g/lens}$ 이었고, 산소투과율은 인공눈물에 노출되기 전보다 6.7% 감소하였다. 3일 동안 노출되었을 때는 각각 $66.90 \pm 2.22 \mu\text{g/lens}$, 12.7%, 5일에는 $793.74 \pm 3.33 \mu\text{g/lens}$, 16.0%, 7일에는 $918.07 \pm 0.11 \mu\text{g/lens}$, 20.6%, 9일에는 $1023.84 \pm 2.22 \mu\text{g/lens}$, 20.7%였다(Fig. 6). Polymacon-II 써클렌즈는 1일에 각각 12.72 ± 0.57

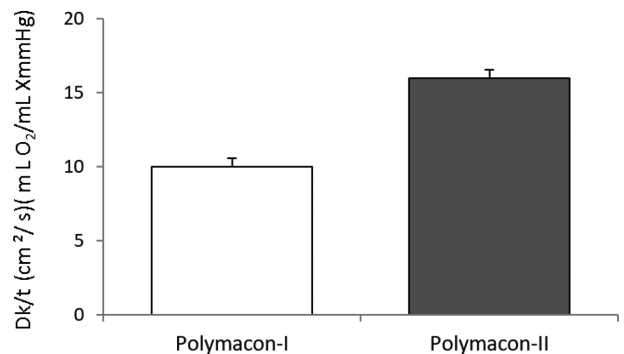


Fig. 5. Measured Dk/t of polymacon lenses not incubated in artificial tears.

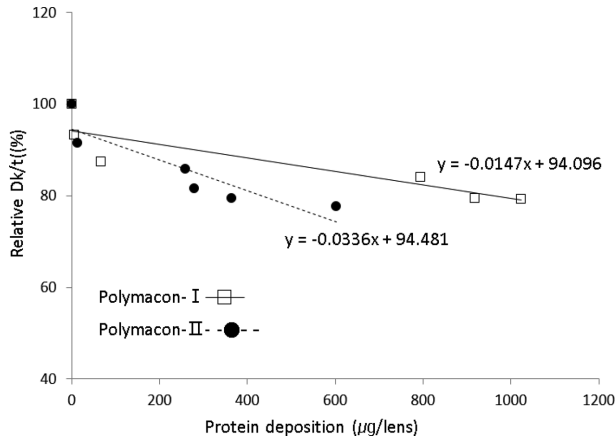


Fig. 6. Relationship between relative Dk/t and amount of protein deposition on polymacon lenses.

µg/lens, 8.6%, 3일에는 259.21±1.14 µg/lens, 14.1%, 5일에는 278.95±0.57 µg/lens, 18.4%, 7일에는 364.91±0.85 µg/lens, 20.6%, 9일에는 606.63±0.29 µg/lens, 22.4%였다(Fig. 6). 인공 눈물 노출시간에 따른 단백질 침착량이 두 렌즈 간에 차이가 있었으며 polymacon-I 써클렌즈의 침착량이 다소 많았다. 그러나 산소투과율 감소 정도는 polymacon-I 써클렌즈에 침착된 단백질 양이 793.74 µg/lens였을 때 16.0%였으나, polymacon-II 써클렌즈는 더 적은 단백질 침착량인 606.63 µg/lens에서 22.4%로 polymacon-II 써클렌즈의 산소투과율 감소 정도가 더 급격하게 나타났다. 또한, 두 렌즈의 산소투과율 비가 각각 20.7%과 20.6%로 비슷하게 감소되었을 때 침착 단백질량은 각각 1023.84±2.22 µg/lens, 364.91±0.85 µg/lens로 상당한 차이가 있었다(Fig. 6).

단백질 양을 기준으로 하여 산소투과율 감소 정도에 대한 추세를 그렸을 때, polymacon-I 써클렌즈는 기울기 -0.015, 상관계수 $r = 0.883$ 이며, polymacon-II 써클렌즈는 각각 -0.034, 상관계수 $r = 0.894$ 로 단백질 침착량이 많아지면 모두 산소투과율이 감소한다는 것을 알 수 있었으며, 동일 polymacon 재질 렌즈라 하더라도 단백질 침착량에 대한 산소투과율 감소비가 크게 차이 날 수 있음을 확인하였다.

이 등^[11]의 연구에서 polymacon 재질의 투명렌즈에 침착된 단백질량이 1일에는 9.7±0.3 µg/lens, 3일에는 14.5±1.3 µg/lens, 7일에는 18.2±0.7 µg/lens, 14일에는 26.1±1.4 µg/lens로 증가하였고, 산소투과율 비는 14일에 4.77%로 감소하였다. 본 연구에서는 polymacon 재질의 써클렌즈를 사용하였다는 점에서 더 많은 양의 단백질이 침착된 것으로 보인다. 또한, polymacon-I 써클렌즈와 polymacon-II 써클렌즈의 단백질 양에서 차이가 있는 것처럼 이 등^[11]의 연구에서 사용한 렌즈가 동일한 재질이나 제조과정의 차이나 표면의 거칠기와 같이 단백질 침착에 영향을 줄 수 있는 요인들의 차이에 의해 침착되는 단백질 양에 차이가 나타난

것으로 생각된다. 산소투과율의 변화 역시 선행연구^[11]에서의 polymacon 투명렌즈의 변화값보다 본 연구에서의 산소투과율 감소가 더 크게 나타났으며, 이러한 결과는 본 연구에서의 polymacon 재질 써클렌즈의 단백질 침착량이 더 컸기 때문에 이로 인한 산소투과율의 감소 정도도 더 크게 나타난 것으로 보인다.

써클렌즈 착용 시의 불편함은 최근 들어 착색 방법 및 재질 특성이 개선된 써클렌즈의 개발에 의해 투명렌즈와 비교하여 착용감에서 큰 차이가 없게 되었다.^[24] 최근 수년간 일회용 콘택트렌즈 제조회사들은 침착 단백질량 감소와 산소투과율을 높이기 위한 재질 개발과 연구들을 계속 진행하고 있으며,^[24,25] 일회용 렌즈의 편리성과 아름다운 눈을 표현할 수 있는 미용적인 장점을 내세워 시장의 규모를 키우고 있다. 1990년~1992년 미시간(Michigan) 서부지역에서 일회용 렌즈 착용자의 각막색양 발생률은 일일 콘택트렌즈 착용자의 14.16배, 연속 렌즈 착용자의 7.66배가 높아 일회용 렌즈 착용자의 경우 상대적 위험도가 가장 높은 것으로 알려져 있다.^[26] 선행된 연구결과에서 일회용 렌즈의 편리성 이면에 부작용을 예방하기 위해 제조회사에서 고지하는 착용 시간을 준수하는 것은 각막 손상을 최소화하는 방법이다. 또한 써클렌즈의 산소투과율을 감소시키는 침착 단백질량은 장시간 렌즈 착용 시 착용감 뿐 아니라 시력만족도 및 각막생리에 영향을 줄 것으로 예상할 수 있다.

결론

본 연구에서는 써클렌즈에 침착되는 단백질 양과 산소투과율 변화의 상관성을 재질별 및 착색 유무별로 알아보았다. 샌드위치 공법의 etafilcon A 재질 써클렌즈는 단백질 침착량이 증가할수록 산소투과율이 감소하는 상관성을 가졌다. 동일한 재질 및 파라미터를 가지고 있는 투명렌즈 역시 상관성을 가졌으나 써클렌즈의 감소 정도가 다소 적었다. Microencapsulation 공법으로 표면에 염료가 착색된 hilafilcon B 재질 써클렌즈 역시 단백질 침착량이 증가할수록 산소투과율이 감소하는 상관성이 있었으며, 산소투과율의 감소 폭이 etafilcon A 써클렌즈보다 더 컸다. 또한, hilafilcon B 투명렌즈보다 써클렌즈의 산소투과율 감소 정도가 더 컸다. 두 제조사에서 각기 샌드위치 공법으로 착색되었다고 명기된 polymacon-I 및 polymacon-II 써클렌즈 역시 모두 침착된 단백질 양과 산소투과율 감소 정도는 상관성이 있었으며, 감소 정도는 크게 차이가 있었다.

본 연구를 통해 착용을 하였을 때 유발될 수 밖에 없는 눈물 단백질의 침착에 의해 투명렌즈와 써클렌즈 모두 산소투과율이 감소함을 밝혔다. 렌즈의 재질에 따라 감소되

는 정도가 달랐으며 렌즈에 따라 씨클렌즈의 감소폭이 더 큰 경우도 있었으나 투명렌즈의 감소 폭이 더 큰 경우도 있어 재질 특성 및 착색 공법이나 착색 공정에서의 차이가 산소투과율 변화 폭에 영향을 미친 것으로 보인다. 또한 동일 재질 및 착색공법의 씨클렌즈라 하더라도 제조사가 다를 경우 중합된 렌즈 재질 특성이 다르며, 착색 과정이나 사용된 염료 등의 차이가 산소투과율 변화에 차이를 유발할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Kim SR, Park SH, Ju SY, Lee HR, Park M. A comparison of the movements of circle contact lens and soft contact lens with identical material on cornea. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(1):27-35.
- [2] Riley C, Young G, Chalmers R. Prevalence of ocular surface symptoms, signs, and uncomfortable hours of wear in contact lens wearers: The effect of refitting with daily-wear silicone hydrogel lenses (senofilcon a). *Eye Contact Lens.* 2006;32(6):281-286.
- [3] Park M, Kang SY, Chang JI, Han A, Kim SR. Changes in subjective discomfort, blinking rate, lens centration and the light transmittance of lens induced by exceeding use of daily disposable circle contact lenses in dry eyes. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(2):153-162.
- [4] Park M, Kwon HL, Choi SA, Kim SR. Changes in subjective/objective symptoms and the light transmissibility of lens associated with overusage of daily disposable circle contact lenses in normal eyes. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2013;18(4):429-439.
- [5] Wolffsohn JS, Hunt OA, Chowdhury A. Objective clinical performance of 'comfort-enhanced' daily disposable soft contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye.* 2010;33(2):88-92.
- [6] Snyder RW, Brenner MB, Wiley L, Yee RW, Gradus MS, Mackman GS. Microbial keratitis associated with plano tinted contact lenses. *CLAO J.* 1991;17(4):252-255.
- [7] Ramamoorthy P, Sinnott LT, Nichols JJ. Treatment, material, care, and patient-related factors in contact lens-related dry eye. *Optom Vis Sci.* 2008;85(8):764-772.
- [8] Park M, Yang JH, Kim SM, Park S, Park SH, Kim SR. Changes in centration of contact lenses on cornea and blink rate associated with overusage of disposable lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2008;13(4):51-58.
- [9] Lee YJ, Park SI, Lee HS, Park M. The change of blink rate by wearing soft contact lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2006;11(3):173-179.
- [10] Lee SE, Kim SR, Park M. Oxygen permeability of soft contact lenses in different pH, osmolality and buffering solution. *Int J Ophthalmol.* 2015;8(5):1037-1042.
- [11] Lee SE, Kim SR, Park M. Influence of tear protein deposition on the oxygen permeability of soft contact lenses. *J Ophthalmol.* 2017;2017:5131764.
- [12] Lorenz KO, Kakkassery J, Boree D, Pinto D. Atomic force microscopy and scanning electron microscopy analysis of daily disposable limbal ring contact lenses. *Clin Exp Optom.* 2014;97(5):411-417.
- [13] Park HL, Shin JC, Kim SR, Park M. Evaluation for surficial and internal hydrophilicity of soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2017;22(3):213-219.
- [14] Park SH, Park I, Kim SR, Park M. Relationship between the deposition of tear constituents on soft contact lenses according to material and pigmentation and adherence of *Staphylococcus aureus*. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2016;21(2):109-117.
- [15] Park SH, Kim SR, Park M. Relationship between the deposition of tear constituents and the adherence of *Candida albicans* according to soft contact lenses materials and pigmentation. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2016;21(3):215-225.
- [16] Lee JY, Lee JI, Kim SR, Park M. Correlation between tear proteins deposition and oxygen transmissibility of soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2017;22(2):97-103.
- [17] Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem.* 1951;193(1):265-275.
- [18] Fatt I, Chaston J. Measurement of oxygen transmissibility and permeability of hydrogel lenses and materials. *Int Contact Lens Clin.* 1982;9(2):76-88.
- [19] Cho CK, Song TH, Lee SE, Kim SR, Park M. Effects of repeated temperature changes on soft contact lens parameters. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(3):227-239.
- [20] Choi HD, Kim YJ, Choi SY, Shin JC, Park M, Kim SR. The state of eyewash solution use and parameter changes in clear soft contact lenses from repeated solution use. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(2):97-110.
- [21] Lee S, Hyung SM, Koh SH, Park M, Kim SR. The effect of circle contact lens on the stability of tear film. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(2):125-131.
- [22] Giraldez MJ, Yebra-Pimentel E. Hydrogel contact lenses surface roughness and bacterial adhesion. *Ocular Diseases.* 2012;95-120. <http://dx.doi.org/10.5772/48436>.
- [23] Ji YW, Cho YJ, Lee CH, Hong SH, Chung DY, Kim EK et al. Comparison of surface roughness and bacterial adhesion between cosmetic contact lenses and conventional contact lenses. *Eye Contact Lens.* 2015;41(1):25-33.
- [24] Guillon M, McGrogan L, Guillon JP, Styles E, Maissa C. Effect of material ionicity on the performance of daily disposable contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye.* 1997;20(1):3-8.
- [25] Lee HM, Kim JK, Cho TS. Antimicrobial hydrogel contact lens containing alginate. *Bull Korean Chem Soc.* 2011;32(12):4239-4243.
- [26] Buehler PO, Schein OD, Stamler JF, Verdier DD, Katz J. The increased risk of ulcerative keratitis among disposable soft contact lens users. *Arch Ophthalmol.* 1992;110(11):1555-1558.

씨클콘택트렌즈의 단백질 침착량과 산소투과율 변화와의 상관관계

박경희¹, 김소라², 박미정^{2,*}

¹국제대학교 안경광학과, 교수, 평택 17731

²서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811

투고일(2019년 2월 18일), 수정일(2019년 3월 13일), 게재확정일(2019년 3월 20일)

목적: 본 연구에서는 씨클콘택트렌즈(이하 씨클렌즈)에 침착되는 눈물 단백질 양과 산소투과율 변화의 상관관계를 밝히고자 하였다. **방법:** Etafilcon A 재질의 투명렌즈와 샌드위치 공법으로 제조된 씨클렌즈, hilafilcon B 재질의 투명렌즈와 microencapsulation 공법으로 제조된 씨클렌즈 및 샌드위치 공법으로 제조된 두 종의 poymacon 재질의 씨클렌즈를 인공눈물에 노출시켜 단백질을 침착시켰으며, 플라로그래픽 방법을 이용하여 산소투과율을 비교하였다. **결과:** 본 연구에서 사용된 모든 콘택트렌즈는 단백질 침착량이 증가할수록 산소투과율이 감소하는 동일한 상관성을 나타내었다. 그러나 산소투과성의 감소 정도는 렌즈 재질과 색소 침착에 따라 다르게 나타났다. 즉, etafilcon A 투명 및 씨클렌즈는 유사한 산소투과성의 감소를 나타내었으나, hilafilcon B 렌즈의 경우는 씨클렌즈에서 더 큰 감소를 보였다. Polymacon-I 씨클렌즈와 다른 회사에서 제조된 polymacon-II 씨클렌즈를 비교 시에는 상대적으로 큰 산소투과성 감소의 차이를 나타냈었다. **결론:** 본 연구결과는 눈물 단백질의 침착에 의한 산소투과율의 감소는 재질 특성 뿐만 아니라 착색 공법이나 착색 공정과 같이 착색 과정에서 유발되는 차이에 의하여 달라질 수 있음을 제안한다.

주제어: 산소투과율, 눈물 단백질 침착량, 씨클콘택트렌즈, 착색공법