

두께 기준에 따른 소프트 콘택트렌즈의 산소투과성 평가

유동식¹, 문병연^{1*}
¹경운대학교 안경광학과

Evaluation of Oxygen Permeability of Soft Contact Lenses Based on Thickness

Dong-Sik Yu¹ and Byeong-Yeon Moon^{1*}

¹Department of Visual Optics, Kyungwoon University

요 약 소프트 콘택트렌즈의 산소투과성은 눈의 생리적 반응을 고려할 때 각막의 건강 상태를 결정하는 주요 파라미터이다. 이 연구의 목적은 폴라로그래피 방법을 이용하여 두께 기준에 따른 소프트 콘택트렌즈의 산소투과성을 평가하는데 있다. 렌즈의 두께는 접촉식과 비접촉식 방법으로 측정하였고, 정확도와 신뢰도를 평가하기 위하여 Bland-Altman 분석을 하였다. 정확도는 비접촉식 방법으로 측정한 중심 두께 기준의 산소투과성에서 높은 반면, 신뢰도는 접촉식 방법으로 측정한 중심 두께 기준의 산소투과성에서 높았다. 이 결과는 소프트 콘택트렌즈의 두께 측정 방법과 기준에 따라 산소투과성이 다르며, 소프트 콘택트렌즈의 두께 측정은 비접촉식 방법이 보다 더 합리적임을 보여준다. 따라서 콘택트렌즈 임상 실무자들은 산소 공급 능력에 대한 데이터를 해석하거나 인용할 경우, 방법론 사이의 기본적 차이를 고려하여야 한다.

Abstract The oxygen permeability of a soft contact lens is an important parameter for determining corneal health when considering the physiological response of the eye. The aim of this study is to evaluate the oxygen permeability of soft contact lenses based on thickness, using the polarographic method. The thickness of lens was measured using contact and non-contact method. To assess accuracy and reliability, the Bland-Altman plot was used. The reliability was high for the oxygen permeability based on center thickness measured by contact method, whereas the accuracy was high for the oxygen permeability based on center thickness measured by non-contact method. These results indicate that the permeability characteristics were variable according to the measurement and criteria of thickness of soft contact lenses and the measurement of soft contact lenses by non-contact method was more reasonable. Thus, contact lens practitioners should consider some basic differences between methodologies when interpreting or quoting oxygen performance data.

Key Words : Oxygen Permeability, Soft Contact Lens, Polarographic Method, Thickness

1. 서론

소프트 콘택트렌즈(soft 또는 hydrogel contact lens) 선택에서 주요한 파라미터(parameter)[1,2]는 산소 공급 능력(oxygen performance)[3], 함유율(water content)[4], 습윤성(wettability)[5], 렌즈 두께(lens thickness)[6] 등을 들 수 있다. 콘택트렌즈는 각막에 직접 닿는 경우로 눈에서 생리적 반응을 고려할 때 가장 중요한 성질은 산소 공급

능력이다[7]. 각막내 산소 공급은 눈물, 대기 중의 산소, 결막 및 각막윤부 등에서 이루어진다. 특히 소프트 콘택트렌즈를 착용한 상태라면 렌즈가 갖는 산소 공급 능력이 무엇보다 중요하다. 소프트 콘택트렌즈 착용에서 나타난 여러 합병증의 원인은 각막의 산소부족(corneal hypoxia)과 관련 있는 것으로 보고되었다[8]. 이와 관련하여 렌즈가 갖는 산소 공급 능력을 산소투과성(oxygen permeability, Dk), 산소전달률(oxygen transmissibility,

*교신저자 : 문병연(bymoon@ikw.ac.kr)

접수일 09년 05월 28일

수정일 (1차 09년 07월 27일, 2차 09년 08월 05일)

게재확정일 09년 08월 19일

Dk/t) 및 당량산소백분율(equivalent oxygen performance, EOP) 등으로 해석한다. 그러나 콘택트렌즈 재질을 기준으로 볼 때 가장 널리 적용되는 파라미터는 산소투과성과 산소전달률이다[9].

콘택트렌즈의 산소투과성과 산소전달률 측정법에 관한 많은 연구[10-12]가 최근까지 이루어지고 있지만, 1970년대에 Fatt가 제시한 폴라로그래피방법(polarographic method)[13-15]을 가장 많이 사용하고 있다. 이 방법은 소프트렌즈를 양극과 음극으로 이루어진 폴라로그래피 산소 센서 표면 위에 올려놓고 두 전극 사이의 화학반응으로 일어나는 전류를 측정하여 산소전달률을 계산하고 이로부터 두께를 적용시켜 산소투과성을 결정한다. 이때 소프트 콘택트렌즈의 두께 측정 방법과 중심 또는 평균 두께를 적용할 것인지 그 기준이 중요하다. 소프트 콘택트렌즈의 두께 측정은 0.015N 힘을 갖는 전자식 두께 게이지(electronic thickness gauge)를 이용한 접촉식[16]이 대부분이며, 일부는 마이크로구면계(microspherometer)를 이용한 비접촉식[17]도 이용한다. 특히 소프트렌즈는 유연성으로 인해 접촉식과 비접촉식에 따라 측정된 렌즈의 두께가 다르고, 또한 중심 두께와 평균 두께 기준에 따라 산소투과성이 차이가 날 수 있다. 그러나 렌즈 제조사에서 제공되는 산소투과성 또는 산소전달률에 관한 자료에서 적용된 두께 기준에 대한 언급이 없는 실정이며, 또한 소프트렌즈의 특성상 두께 측정법에 따라 산소투과성의 결정에 영향을 줄 수 있음에도 불구하고 이에 대한 연구가 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 소프트 콘택트렌즈의 산소전달률을 측정하고, 이로부터 산소투과성을 결정하는데 있어 소프트렌즈의 두께 측정 방법(접촉식과 비접촉식)과 적용되는 두께 설정 기준(중심 두께와 평균 두께)에 따른 신뢰성(reliability) 및 정확도(accuracy)를 평가하고자 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 렌즈

현재 국내에 유통되고 있는 소프트 콘택트렌즈 4종류에 대하여 각각 2개의 렌즈를 선택하여 평가하였다. 각 렌즈에 대해 두께를 3회 측정하였으며, 총 24(n=24, 4종류×2개×3회)케이스에 대해 산소투과도를 평가하였다. 각 렌즈에 대한 몇 가지의 파라미터는 표 1과 같다. 렌즈 선택 기준은 통상적으로 국내 시장에 많이 유통되고, 산소투과성(Dk)에 관한 데이터가 확실하게 제공되는 제품군으로 하였다. 렌즈의 굴절력은 일반적으로 제품 명세서의

기준이 되는 -3.00 diopter와 렌즈의 전체 두께가 두꺼운 -7.00 diopter 두 종류로 하였다.

[표 1] 평가에 이용한 소프트 콘택트렌즈

Manufacturer/brand initial name	Claimed Dk ^a	Materials	Diopter
MK/F1	7.8	Polymacon	-3.00
MK/F2	7.8	Polymacon	-7.00
BL/O1	8.5	Polymacon	-3.00
BL/O2	8.5	Polymacon	-7.00

^aValue claimed by manufacturer at room temperature; obtained from company brochures and reference[4].

2.2 산소투과성 (Dk)

산소투과성 결정에 앞서 먼저 폴라로그래피 방법으로 산소전달률(Dk/t)을 결정하였다. 본 연구에서는 제공된 Dk는 실온을 기준한 것으로 측정시의 온도는 26~28℃를 유지하여 ISO 9913-1[13]기준에 따라 측정하였다. 측정은 곡률반경 7.8mm, 직경 4mm인 폴라로그래피 센서(201T Permeometer, Creative technology, 미국)로 하였다. 생리 식염수로 채워진 유리병(vial)에 담겨져 있는 렌즈와 측정기 세트를 실온 상태로 안정화시킨 다음, 렌즈를 센서 위에 올려놓는다. 음극과 양극으로 이루어진 센서에 전류가 흐르도록 하고, 안정된 전류 값을 측정하여 아래 식(1)에서 Dk/t를 결정하였다.

$$Dk/t = [(I - I_0) / (P_A \times A)] \times (5.804 \times 10^{-2}) \quad (1)$$

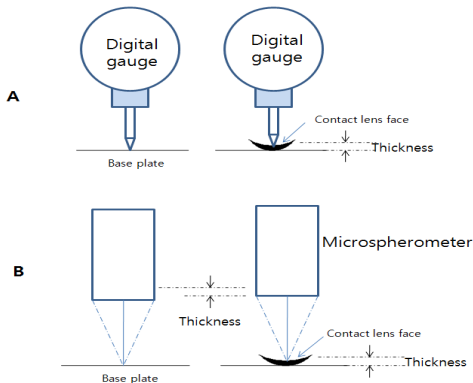
여기서 I는 측정된 전류(ampere), I₀는 산소 유입이 없을 때의 전류, P_A는 산소의 분압(mmHg), A는 구형 양극의 면적(0.1278 cm²)이며, Dk/t 단위는 10⁻¹¹(cm²/s)(mlO₂/ml×mmHg)이다. 소프트렌즈 재질 내에서 산소가 수직으로 흐르는 것 외에도 측 방향으로 흐르게 되는 edge effect[18]를 고려한 산소전달률은 다음 식(2)을 적용하여 보정하였다.

$$(t/Dk)_{corrected} = (t/Dk)_{measured} \times [1 + (2.35t/D)] \quad (2)$$

여기서 t는 렌즈의 중심 두께(mm), D는 양극의 직경(mm)이다. 위에서 결정된 산소전달률에서 두께를 적용시켜 산소투과도(Dk = (Dk/t) × t)를 결정하였다. Dk 단위는 10⁻⁹(cm/s)(mlO₂/ml×mmHg)이다.

2.3 중심 두께 및 평균 두께

접촉식 방법에 의한 중심 두께 측정은 0.015N 힘을 갖는 기계적 게이지(electronic thickness gauge, ET-3, Rehder Development Company, 미국)[16]를 이용하여 그림 1의 A와 같이 측정한다. 측정 기기의 영점을 확인하고, 식염수로 채워진 유리병에 담겨져 있는 렌즈를 꺼내어 렌즈의 정중앙을 표시한다. 측정 게이지의 센서 리프트를 손으로 가볍게 들어 올려 측정 위치의 중앙에 렌즈의 중심이 오도록 한 다음, 센서 리프트를 잡은 손을 천천히 놓아 3회 측정한다.



[그림 1] 두께 측정 개략도(A: 접촉식, B: 비접촉식)

비접촉식 방법에 의한 측정은 microspherometer 원리와 같은 곡률반경측정기(radiusgauge, RG-10, SHIN-NIPPON, 일본)를 이용하여 그림 1의 B와 같이 측정한다[17]. 렌즈를 올려놓을 편평한 지지대 상단면에 측정기의 타깃의 상이 확실하게 나타나도록 측정 레버로 초점을 맞추어 영점을 확인한다. 측정할 렌즈의 중심을 지지대 위에 올려놓고 측정 레버를 돌려 또 하나의 타깃의 상이 나타날 때 측정하였고, 각 렌즈별로 3회 측정하였다.

각 측정 방법에서 얻은 중심 두께를 평균 두께로 환산하기 위해 Brennan[19]이 제시한 소프트 렌즈의 평균 두께에 관한 데이터에서 중심 두께와 평균 두께 간의 선형 관계식을 유도하여 -3.00D의 경우 $t_{ave} = 0.998 \times t + 0.027$ ($r^2=0.999$, $p<0.0001$), -7.00D의 경우 $t_{ave} = 1.048 \times t + 0.051$ ($r^2=0.999$, $p<0.0001$)을 적용하였다.

2.4 통계 분석

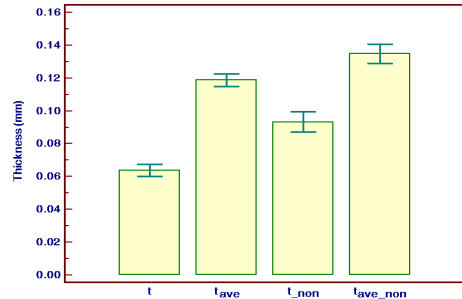
소프트 콘택트렌즈의 두께를 측정 방법과 적용 기준에 따른 산소투과도의 신뢰도와 정확도를 제조사에서 제시한 값과 비교하기 위하여 MccCalc™ (MedCalc, 벨기에)

를 이용하여 paired(samples) t-test와 Bland-Altman 분석[20]을 실시하였다. 특히 Bland-Altman 분석은 두 방법 간의 일치도 경향을 비교하는 것으로 작은 샘플에도 적용이 가능하다[21]. 따라서 이 방법으로 두 값의 평균차(mean difference, MD), 표준편차(standard deviation, SD) 및 95%의 동의 수준($1.96 \times SD$)을 평가하였다. 모든 분석에서 유의 수준은 $p = 0.05$ 로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 접촉식과 비접촉식의 두께 평가

접촉식과 비접촉식으로 측정된 렌즈의 두께에 대한 평균 그래프는 그림 2와 같다.



[그림 2] 두께 비교 (95%의 신뢰구간, t: 접촉식에 의한 중심 두께, t_{ave}: 접촉식에 의한 평균 두께, t_{non}: 비접촉식에 의한 중심 두께, t_{ave_non}: 비접촉식에 의한 평균 두께)

접촉식에 의해 측정된 소프트 콘택트렌즈의 중심 두께(t)는 0.064 ± 0.008 mm, 평균 두께(t_{ave})는 0.119 ± 0.009 mm이었으며, 비접촉식에 의해 측정된 중심 두께(t_{non})는 0.093 ± 0.015 mm, 평균 두께(t_{ave_non})는 0.135 ± 0.014 mm로 접촉식으로 측정된 값들이 비접촉식 방법에 의한 값보다 작았다. 이는 접촉식의 경우 렌즈에 가해지는 힘에 의해 두께가 낮게 평가되기 때문으로 보이며, 이 결과는 접촉이 강할수록 두께가 작게 측정되는 경향을 보인 최근의 연구결과[22]와 일치한다. Paired t-test에서 두 측정 방법에 따른 중심 두께와 평균 두께의 p값은 각각 $p < 0.0001$ 과 $p < 0.0004$ 로 통계적으로 유의성이 있는 것으로 평가되었다.

3.2 산소투과성 평가

앞서 기술한 접촉식으로 중심 두께를 결정하고 이를

기준으로 하는 산소투과성(Dk_{con}), edge effect를 고려한 산소투과성(Dk_{cor}) 및 평균 두께를 기준한 산소투과성(Dk_{ave}), 그리고 비접촉식으로 측정된 중심 두께를 기준으로 하는 산소투과성(Dk_{non})과 edge effect를 고려한 산소투과성(Dk_{cor/non}) 및 평균 두께를 기준으로 하는 산소투과성(Dk_{ave/non})을 결정한 결과는 표 2와 같다.

[표 2] 기준에 따른 산소투과성 평균과 표준편차

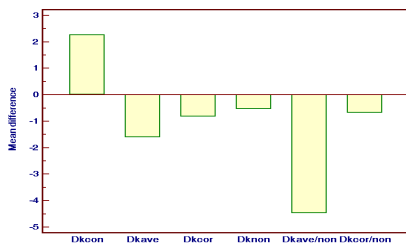
	Dk _{con}	Dk _{ave}	Dk _{cor}	Dk _{non}	Dk _{ave/non}	Dk _{cor/non}
Mean	5.879	9.755	8.985	8.684	12.622	8.836
SD	0.371	1.611	0.912	1.526	2.214	0.872

Unit:10⁻⁹(cm/s) (mlO₂/ml×mmHg). SD: standard deviation, Dk: oxygen permeability, Dk_{con}: Dk based on thickness measured by contact method, Dk_{ave}: Dk based on average thickness, Dk_{cor}: corrected Dk, Dk_{non}: Dk based on thickness measured by non-contact method, Dk_{ave/non}: Dk_{non} based on average thickness, Dk_{cor/non}: corrected Dk_{non}.

[표 3] 산소투과성의 비교

Dk _{spec} vs. Dk	MD	SD	p*	95% LOA
Dk _{spec} vs. Dk _{con}	2.27	0.63	p<0.0001	±1.27
Dk _{spec} vs. Dk _{ave}	-1.61	1.71	p=0.0001	±3.41
Dk _{spec} vs. Dk _{cor}	-0.83	1.01	p=0.0005	±2.02
Dk _{spec} vs. Dk _{non}	-0.53	1.75	p=0.1495	±3.51
Dk _{spec} vs. Dk _{ave/non}	-4.47	2.40	p<0.0001	±4.80
Dk _{spec} vs. Dk _{cor/non}	-0.68	0.96	p=0.0019	±1.92

Dk_{spec}: Dk obtained from company brochures or reference[4], MD: mean difference, LOA: limits of agreement, SD: standard deviation, *: paired t-test (p<0.05), unit: 10⁻⁹(cm/s) (mlO₂/ml×mmHg).

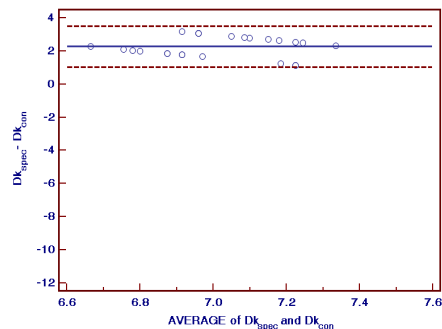


[그림 3] Dk_{spec} 기준의 평균차이 비교

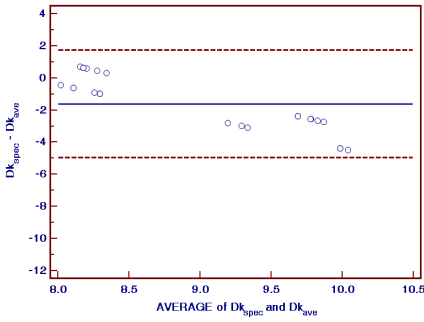
위에서 결정된 산소투과성을 제조사에서 제공한 산소투과성(Dk_{spec})과 비교한 결과는 표 3과 같으며, Dk_{spec}을 기준으로 한 평균차이는 그림 3과 같다. 일반적으로 두 데이터를 비교할 때 평균차이가 0에 근접할수록 서로 일치하며 정확도(accuracy)가 높다는 것을 의미한다[23]. 표

3과 그림 3에서 알 수 있듯이 Dk와 Dk_{spec}의 평균차이(MD)는 비접촉식으로 측정된 렌즈 평균 두께 기준으로 한 Dk_{ave/non}에서 -4.47로 Dk_{spec}보다 높은 산소투과성을 보였다. 한편 접촉식으로 측정된 중심 두께 기준으로 한 Dk_{con}에서 2.27로 높은 평균차이를 보였으나 Dk_{spec}보다 낮은 것으로 평가되었다. 평균차이가 가장 낮은 것은 비접촉식 측정의 두께 기준으로 하는 산소투과성인 Dk_{non}이 0.53으로 Dk_{spec}과 유의한 차이가 없는 것으로 평가되었다(p=0.1495). 평균차이를 기준하여 볼 때 접촉식에 의한 중심 두께 기준 산소투과성을 제외하고, 비접촉식에 의해 평가된 모든 산소투과성과 접촉식에 의한 평균 두께 기준이나 edge effect를 고려한 산소투과성이 Dk_{spec}보다 모두 큰 경향을 보였다. 이러한 경향은 플라로그래피방법에서 산소투과성이 산소전달률에서 결정되는 즉, Dk = (Dk/t) × t에 의해 결정됨으로 렌즈가 두꺼울수록 산소투과성이 크게 평가되는 것으로 판단된다.

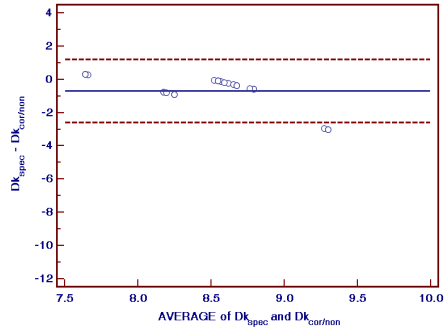
Dk와 Dk_{spec}의 Bland-Altman 분석 결과는 그림 4~9와 같다. 이 분석은 각각의 산소투과성의 평균과 평균차이에 대한 그래프이다. 수평 실선은 평균차이며, 수평 점선은 95% 동의 수준의 범위(±1.96×SD)로 방법의 신뢰도(reliability)를 나타낸다[20]. 그림 4에서 알 수 있듯이 접촉식으로 측정된 중심 두께 기준의 산소투과성(Dk_{con})의 신뢰도가 가장 높았고, 비접촉식으로 측정된 평균 두께 기준의 산소투과성(Dk_{ave/non})의 신뢰도는 그림 8과 같이 가장 낮았다. 두께를 접촉식으로 결정하는 경우에 평균 두께 기준의 산소투과성(Dk_{ave})의 신뢰도가 그림 5와 같이 가장 낮았다. 또한 비접촉식으로 결정하는 경우에 edge effect를 고려한 두께 기준의 산소투과성(Dk_{cor/non})의 신뢰도가 그림 9와 같이 높았다. 접촉식이든 비접촉식이든 평균 두께를 기준으로 결정하는 산소투과성의 신뢰도는 그림 5와 그림 8과 같이 낮은 경향을 보였고, edge effect를 고려한 두께 기준의 신뢰도는 그림 6과 그림 7과 같이 비슷하였다.



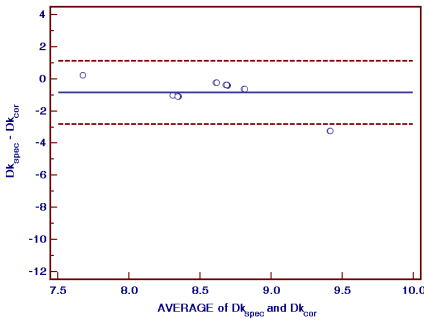
[그림 4] Dk_{spec} vs. Dk_{con}의 비교



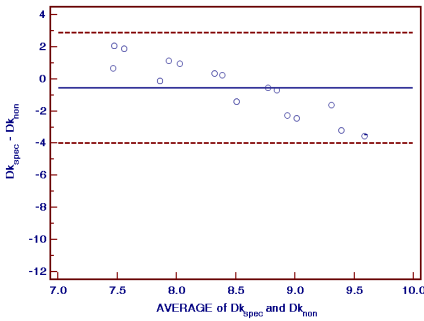
[그림 5] Dk_{spec} vs. Dk_{ave} 의 비교



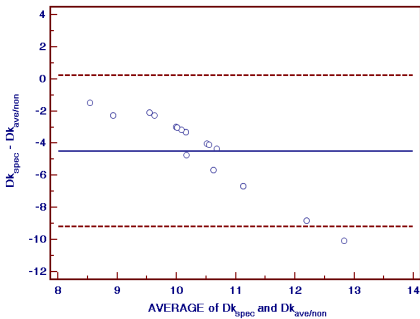
[그림 9] Dk_{spec} vs. $Dk_{cor/non}$ 의 비교



[그림 6] Dk_{spec} vs. Dk_{cor} 의 비교



[그림 7] Dk_{spec} vs. Dk_{non} 의 비교



[그림 8] Dk_{spec} vs. $Dk_{ave/non}$ 의 비교

위 결과를 보면 측정 기준에 따라 산소투과성의 차이를 나타내고 있다. ANSI Z80.20[14]에 기준에 의하면 특히 소프트 콘택트렌즈의 산소투과성의 허용오차를 20%로 설정하고 있는데 이는 산소투과성은 측정 방법, 측정 조건 및 함수율에 따라 변동성이 크다는 의미이며 따라서 보다 안정적인 산소투과성을 결정하기 위한 여러 요인을 고려한 다양한 연구가 필요하다.

각막 건강 상태를 유지하는 가장 중요한 요소는 렌즈의 재질과 두께에 관계된 산소전달률(Dk/t)이다[24]. 산소전달률은 결국 적용되는 렌즈의 두께 기준이나 산소투과성에 따라 다르다[25]. 위의 결과에서 볼 수 있듯이 적용되는 렌즈의 두께 기준에 따라 또는 문헌에 명시되거나 제조업자가 제시한 산소투과성의 데이터를 어떻게 적용하는가에 따라 렌즈의 산소투과성의 신뢰도와 정확도는 차이가 있다는 것을 보여 준다. 임상 실무자들이 콘택트렌즈를 처방할 때 각막의 건강 상태를 유지하게 하는 제일 조건으로 고려하는 것은 렌즈가 갖는 산소 공급 능력이다. 그러나 동일한 물질에 대해서 측정 기법이나 적용되는 두께에 따라 산소투과성에 대한 평가는 다를 수 있으므로 산소투과성이나 산소전달률에 관한 정확한 데이터, 즉 측정 온도, 측정 방법, 적용 두께 기준 등을 명확히 할 필요가 있다.

또한 지금까지 거의 대부분 콘택트렌즈의 두께 측정은 접촉식으로 이루어져 왔으며, 또한 두께에 대한 평가와 산소투과성 결정 시 보정 방법 등을 제시하였다[18]. 그러나 소프트렌즈의 유연성을 고려해 볼 때 두께 측정은 비접촉식이 바람직하다. 따라서 비접촉식에 의해 산소투과성의 결정에 대한 정확도와 신뢰도를 높이기 위해서는 평균 두께 보정이나 edge effect 등을 고려할 필요가 있다.

4. 결론

렌즈의 두께 측정 방법과 적용되는 두께 설정 기준에 따른 소프트렌즈의 산소투과성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

소프트렌즈의 두께는 접촉식보다 비접촉식에 의한 방법이 보다 크게 측정되었다. 정확도는 비접촉식에 의한 중심 두께 기준으로 결정된 산소투과성에서 가장 높았으며, 신뢰도는 접촉식에 의한 중심 두께 기준으로 결정된 산소투과성에서 가장 높았다. 정확도와 신뢰도가 모두 높은 것으로 평가되는 것은 접촉식과 비접촉식에 의해 측정된 중심 두께를 기준으로 하고 edge effect를 고려한 산소투과성에서 나타났다. 그러나 소프트 콘택트렌즈의 유연성 측면에서 보면 하중을 가하게 되는 접촉식보다 하중이 없는 비접촉식에 의한 두께 결정이 합리적이라고 본다. 따라서 산소투과성은 각막의 산소부족에 의한 렌즈 착용의 부작용의 평가나 렌즈의 착용 방식을 결정하는 주요 파라미터인 만큼 비접촉식에 의한 소프트 콘택트렌즈의 두께 측정과 산소투과성 결정에 관한 보다 더 체계적인 연구가 진행되어야 할 것으로 본다.

참고문헌

[1] I. Tranoudis, N. Efron, "Parameter stability of soft contact lenses made from different materials", *Contact Lens Anterior Eye*, Vol. 27, pp. 115-131, 2004.

[2] W. D. Long, R. E. Bauman, R. Dandridge, P. Hagmann, "Measured versus labeled parameters of daily disposable contact lenses", *International Contact Lens Clinic*, Vol. 24, pp. 188-197, 1997.

[3] K. French, "Contact lens material properties: Part 3 - Oxygen performance", *Optician*, Vol. 230, No. 6030, pp. 16-21, 2005.

[4] N. Efron, P. B. Morgan, I. D. Cameron, N. A. Brennan, M. Goodwin, "Oxygen permeability and water content of silicone hydrogel contact lens materials", *Optometry and Vision Science*, Vol. 84, No. 4, pp. 328-337, 2007.

[5] H. A. Ketelson, D. L. Meadows, R. P. Stone, "Dynamic wettability properties of a soft contact lens hydrogel", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 40, pp. 1-9, 2005.

[6] J. Gispets, G. Cardona, R. Solà, C. Varón, F. Salazar, "Central thickness of hydrogel contact lenses as a predictor of success when fitting patients with

tear deficiency", *Contact Lens Anterior Eye*, Vol. 25, pp. 89-94, 2002.

[7] N. A. Brennan, "Beyond flux: total corneal oxygen consumption as an index of corneal oxygenation during contact lens wear", *Optometry and Vision Science*, Vol. 82, No. 6, pp. 467-472, 2005.

[8] J. Morris, "The physiological causes of contact lens complications", *Optometry Today*, pp. 28-33, December 3, 1999.

[9] I. Tranoudis, N. Efron, "Oxygen permeability of rigid contact lens materials", *J. Br. Contact Lens Assoc.*, Vol. 18, No. 2, pp. 49-53, 1995.

[10] M. Chhabra, J. M. Prausnitz, C. J. Radke, "A single-lens polarographic measurement of oxygen permeability (Dk) for hypertransmissible soft contact lenses", *Biometrics*, Vol. 28, pp. 4331-4342, 2007.

[11] J. Hadassah, P. K. Sehgal "A novel method to measure oxygen permeability and transmissibility of contact lenses", *Clin. Exp. Optom.*, Vol. 89, No. 6, pp. 374-380, 2006.

[12] 고명규, "연성 콘택트렌즈의 산소 투과율", *대한안과학회지*, 제8권, 제4호, pp. 65-68, 1977.

[13] International Organization for Standardization, "ISO 9913-1. Optics and optical instruments - Contact lenses - Part 1: Determination of oxygen permeability and transmissibility by the FATT method", Geneva, 1996.

[14] American National Standard, "ANSI Z80.20 - 2004, Contact lenses - Standard terminology, tolerances, measurements and physicochemical properties", USA, 2004.

[15] J. M. González-Méijome, V. Compañ-Moreno, E. Riande, "Determination of oxygen permeability in soft contact lenses using a polarographic method: estimation of relevant physiological parameters", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 47, No. 10, pp. 3619-3629, 2008.

[16] International Organization for Standardization, "ISO 9339-2. Optics and optical instruments - Contact lenses - Determination of thickness - Part 2: Hydrogel contact lenses", Geneva, 1998.

[17] C. Woods, N. Efron, "The parameter stability of a high Dk rigid lens material", *Contact Lens Anterior Eye*, Vol. 22, pp. 14-18, 1999.

[18] P. B. Morgan, N. Efron, "The oxygen performance of contemporary hydrogel contact lenses", *Contact Lens Anterior Eye*, Vol. 21, pp. 3-6, 1998.

[19] N. A. Brennan "Average thickness of a hydrogel

- lens for gas transmissibility calculations”, Am. J. Optom. Physiol. Opt., Vol. 61, pp. 627-635, 1984.
- [20] J. Bland, D. G. Atman. “Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement”, Lancet, Vol. 1, pp. 307-310, 1986.
- [21] M. J. Doughty, “Could the coefficient of variation (COV) of the corneal endothelium be overestimated when a centre-dot method is used?”, Clin. Exp. Optom., Vol. 91, No. 1, pp. 103-110, 2008.
- [22] J. W. Weitkamp, H. J. Marsden, W. Berke, G. Daijo, “Agreement and repeatability of the sonogage ultrasound pachometer compared with a mitutoyo micrometer”, Optometry and Vision Science, Vol. 85, No. 5, pp. 359-363, 2008.
- [23] C. A. Woods, “Measuring non-spherical optical surfaces”, Contact Lens Anterior Eye, Vol. 24, pp. 9-15, 2001.
- [24] N. Efron, “2001: A contact lens (space) odyssey”, Contact Lens Anterior Eye, Vol. 24, pp. 131-142, 2001.
- [25] K. A. Lebow, D. Campbell-burns, “Understanding the values that describe oxygen flux through a contact lens”, Contact Lens Spectrum, January, 1998.

유 동 식(Dong-Sik Yu)

[정회원]



- 1984년 2월 : 동아대학교 화학과 (이학사)
- 1986년 2월 : 부산대학교 화학과 (이학석사)
- 2007년 8월 : 순천향대학교 화학공학·환경공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 보건복지대학 안경광학과 전임강사

<관심분야>

기능성 코팅, 광촉매, 안경 및 콘택트렌즈 재료

문 병 연(Byeong-Yeon Moon)

[정회원]



- 1991년 2월 : 경희대학교 물리학과 (이학사)
- 1994년 8월 : 경희대학교 물리학과 (이학석사)
- 1998년 8월 : 경희대학교 물리학과 (이학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 보건복지대학 안경광학과 조교수

<관심분야>

기능성 코팅, 안경 및 콘택트렌즈 재료, 태양전지