

Effect of Corneal Shape on Tear Film Destruction Time and Location

Ye Jin Jang^{1,a}, Hyungoo Kang^{2,b}, Su Kang Kim^{3,c}, and Sang-il Park^{2,d,*}

¹Dept. of Biomedical Engineering, Catholic Kwandong University, Student, Gangneung 25601, Korea

²Dept. of Optometry, Catholic Kwandong University, Professor, Gangneung 25601, Korea

³Dept. of Biomedical Laboratory Science, Catholic Kwandong University, Professor, Gangneung 25601, Korea

(Received November 24, 2022; Revised December 13, 2022; Accepted December 27, 2022)

Purpose: This study aimed to investigate the effect of corneal shape on the tear film break-up time and location using corneal topography and NIBUT test. **Methods:** In fifty-four eyes without ocular disease, the corneal shape was classified into the round and bow tie types, and the initial tear film break-up time and location were measured. The tear film break-up time and location according to the difference in the radius of curvature between the central and peripheral and the shape of the cornea was confirmed. Furthermore, the correlation between the direction of the weakest meridian and the tear film break-up location was compared. **Results:** When the difference between the radius of curvature at the central and peripheral cornea was less than 0.05 mm, the initial tear film break-up time was 1.92 seconds shorter, and the tear film break-up location was near the center of the average 2.24 mm. The radius of curvature of the central cornea, the radius of curvature of the tear film break-up site, and the cornea shape did not affect the tear film break-up time and location. The tear film break-up location was similar to that of the weakest meridian of the cornea by 44.44%, and it was confirmed that the tear film break-up location in the horizontal meridian was 55.56%. **Conclusions:** In this study, we confirmed that the difference between the radius of curvature at the central and peripheral cornea had an effect on the tear film break-up time and location. Additionally, the tear film break-up location was found to be in the direction of the weakest meridian and the horizontal direction.

Key words: Dry eye, Tear film break up time, Tear film break up location, Corneal shape

서 론

안구건조증은 선천성 및 후천성 요인과 환경적 요인으로 발생할 수 있는 질환으로 눈물의 삼투압 차이로 인한 눈의 불편감과 장애를 유발하는 안구 표면 질환이다.^[1] 이와 같은 원인으로 발생하는 안구건조증은 눈물의 분비 부족형과 증발형, 두 형태가 모두 섞여 있는 건성안까지, 3가지의 형태로 구분된다.^[2] 특히, 증발형 건성안은 인공광원 사용으로 인해 많이 유발되는데, 이는 스마트기기에서 디스플레이 단말기의 깜박임 간격으로 인해 안구건조증과 함께 눈의 피로를 유발한다.^[3] 우리나라에서는 일상생활의 대부분을 스마트폰을 포함한 디지털기기를 통하여 이루고 있으며, 그 사용량이 약 89.8%로 안구건조증 환자가 증가할 수 있는 요인이다.^[4-6]

눈물층은 각각 다른 기관에서 분비되는 세 개의 층으로 이루어져 있으며, 눈물막은 안구 표면을 보호, 윤활제, 영

양 및 산소 공급, 고르게 퍼지게 하는 역할 등을 하고 있다.^[7,8] 오 등^[9]의 연구에 따르면 안구건조증의 원인 중 수성층 부족으로 인한 안구건조증이 가장 많다는 연구 결과가 있다. 눈물막 파괴검사(BUT, break up time)는 수성층의 대류현상을 통해 수성층의 두께가 얇아지고 이로 인한 지질층이 점액층까지 닿게 되는 시간을 측정하는 것으로^[10] 세극등현미경을 통한 침습적 눈물막 파괴 시간(FBUT, invasive fluorescein break up time) 방법과 각막곡률계와 각막지형도 검사기를 이용한 비침습적 눈물막 파괴 시간(NIBUT, non-invasive tear break up time)이 있다.^[11]

각막의 형상은 각막지형도 검사법(corneal topography)을 통해 각막 형상을 분석하여 콘택트렌즈의 개발, 각막 교정술의 발전에 큰 영향을 미쳤다.^[12] Bogan 등은 각막을 5가지 형태로 분류하였으며 최근까지 각막형상의 보편적인 분류법으로 사용되고 있다.^[12] 안구건조의 연구는 각막의 두께와의 연관성, 눈물층과의 연관성, 굴절력 및 수차

*Corresponding author: Sang-il Park, TEL: +82-33-649-7406, E-mail: sangil@cku.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0003-1309-8097>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-1200-9913>, ^c<https://orcid.org/0000-0001-6178-8514>, ^d<https://orcid.org/0000-0002-5015-0416>

본 논문의 일부내용은 2022년도 한국안광학회 대한시과학회 공동학술대회에서 구연으로 발표되었음

와의 연관성 등과 같이 다양한 분석을 통해 연구가 이루어지고 있다. 각막의 형상이 눈물막 파괴에 미치는 영향에 관한 연구는 각막의 사분면에서의 파괴 위치 확인 등의 연구가 진행되었다.^[13-15] 하지만, 각막의 곡률 및 형상과 눈물막 파괴에 관련된 연구는 아직 많이 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 중심부 각막곡률과 주변부 각막곡률반경의 차이, 눈물막파괴 위치의 각막만곡도, 각막의 형상, 약주경선의 위치에 따라 눈물막 파괴에 미치는 영향을 알아보기 위해 눈물막 파괴 시간과 파괴 위치를 비교하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 실험에서는 안질환이나 굴절이상 수술 경험이 없고, 복용하는 약이 없으며, 교정시력이 1.0 이상인 만 20~28세 평균연령이 23.31±1.75세의 20대 성인 32명 64안 중 각막교정수술을 실시한 3명(6안)과 눈꺼풀 처짐으로 인해 각막의 지형 촬영이 어려운 2명(4안)을 제외한 총 27명(54안)을 대상으로 실시하였다.

2. 방법

비침습적 눈물막 파괴시간을 검사하기 위해 소프트렌즈나 RGP렌즈를 착용하지 않은 나안 상태에서 측정하였다. 각막지형도 검사기(CORNEA550, Essilor International, Italy)를 이용하여 각막의 형상과 비침습적 눈물막 파괴 시간 및 위치를 우안에서 좌안 순서로 측정하였으며, 연속 측정시 눈물막 파괴에 영향을 줄 수 있으므로 1회 촬영 후 최소 20분 후 각각 3회 반복 측정하였다. 눈물막 파괴에 영향을 미칠 수 있는 냉난방기의 사용은 하지 않은 상태에서 실내에서 실험을 진행하였다. 중심부와 주변부 각막곡률반경 차이는 실험대상에서 곡률반경 값의 차이가 확실히 분류되는 0.5 mm를 기준으로 이상인 경우와 미만인 경우로 나누어 눈물막이 최초로 깨지는 시간과 위치를 비교하였고, 중심부 각막곡률반경과 주변부 각막곡률반경의 가파른 정도에 따른 눈물막 파괴 시간과 파괴 위치를 비교하였다. 각막의 형태에 의한 구분은 Bogan^[12]의 방법에 의해 각막지형을 분류하였다. 본 연구의 분류에서 대칭과 비대칭 나비형과 타원형을 포함 한 원형으로 구별하였으며, 부정형은 분석에서 제외하였다. 이러한 분류를 통해 각막 형상에 따른 눈물막이 최초로 깨지는 시간과 위치를 비교하였다. 또한, 각막의 가장 편평한 경선과 눈물막 파괴 위치의 상관관계를 확인하기 위해 약주경선에서 눈물막 파괴 위치의 차이를 확인하였다.

3. 통계처리

결과는 평균±표준편차로 표시하였으며, 각막의 형상과 곡률반경의 차이에 따른 눈물막 파괴 시간과 위치를 비교하였다. 각막형상과 곡률반경과의 눈물막 파괴 위치와 시간의 평균 비교는 Unpaired t-test(Prism, Graphpad software, San Diego, USA)를 실시하였고, 사후분석은 Bonferroni 분석을 사용하였다. 각각의 test에서 신뢰도 95%를 기준으로 할 때, 유의확률 (*p*-value)이 0.05 이하이면 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다. 또한, 각막곡률반경 변화에 따른 눈물막 파괴 시간 및 위치의 비교를 위해 상관분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 중심부와 주변부 각막곡률반경 차이에 따른 비교

중심부와 주변부 각막곡률반경 차이에 따라 최초 눈물막 파괴 시간과 최초 눈물막 파괴 위치로 비교하였다. 각막곡률반경 차이가 0.5 mm 이상일 때 눈물막 파괴 시간의 평균은 6.51±4.72 초였으며, 0.5 mm 미만에서는 4.59±1.94 초로 각막곡률반경 차이가 클 때 약 1.92초 늦게 파괴되는 것을 확인하였고, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 1-A, *p*<0.05). 눈물막 파괴 위치에서 0.5 mm 이상과 미만일 때 각각 4.01±0.65 mm, 1.77±1.08 mm였다. 최초 눈물막 파괴 위치에서는 0.5 mm 미만인 경우가 0.5 mm 이상인 경우보다 2.24 mm 가까운 곳에서 깨졌으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 1-B, *p*<0.001). 중심부와 주변부 각막곡률반경의 차이가 클수록 각막이 더 가파른 상태이며, 각막형상의 가파르기는 눈을 뜬 상태에서 중심부와 주변부의 노출시간에 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 눈물막 파괴 위치가 가파를수록 눈물막 파괴 시간이 길어지고, 눈물막의 파괴 위치가 멀어지는 것을 확인할 수 있었는데 이는 각막이 편평하게 되면 외부 노출범위와 노출시간이 더 많아지기 때문에 0.5 mm 미만에서 더 빨리 파괴되고 각막 중심부에서 가까운 곳에서 파괴되는 것으로 생각된다.

2. 눈물막 파괴 위치의 각막곡률에 따른 눈물막 파괴 시간과 위치 비교

중심부 각막곡률이 눈물막 파괴에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 눈물막의 파괴 위치의 범위는 0.6~4.8 mm 이었고(Fig. 2-A), 눈물막의 파괴 시간은 1.7~17.0초의 범위를 보였으며, 중심부 각막곡률의 가파른 정도는 눈물막 파괴 시간 및 위치에 영향을 주지 않는 것으로 확인하였다(Fig. 2-B).

본 연구에서는 눈물막이 파괴되는 지점의 각막곡률과

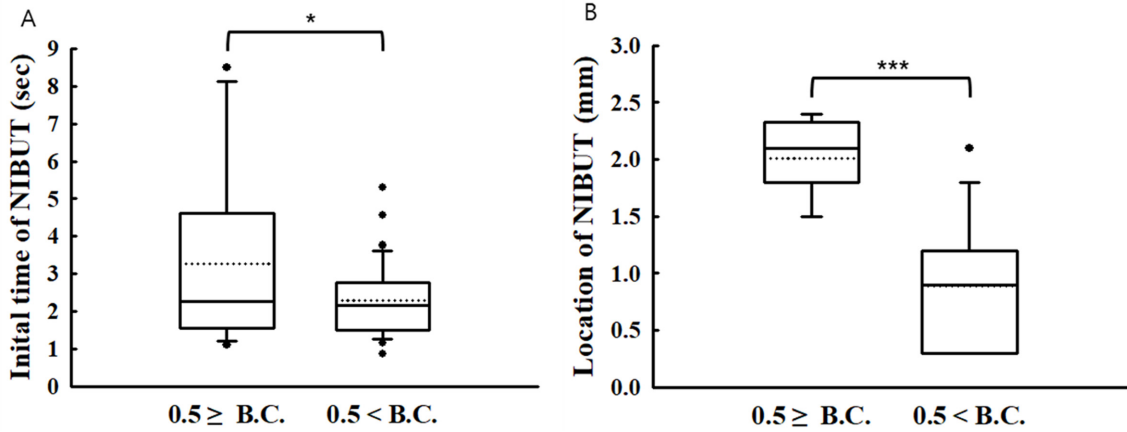


Fig. 1. Comparison according to the difference in the radius of curvature of the central and peripheral corneas. * $p < 0.05$, Significantly different from each group compared, *** $p < 0.001$, Significantly different from each group compared, A. Tear film break up time according to the difference in the radius of curvature of the cornea.

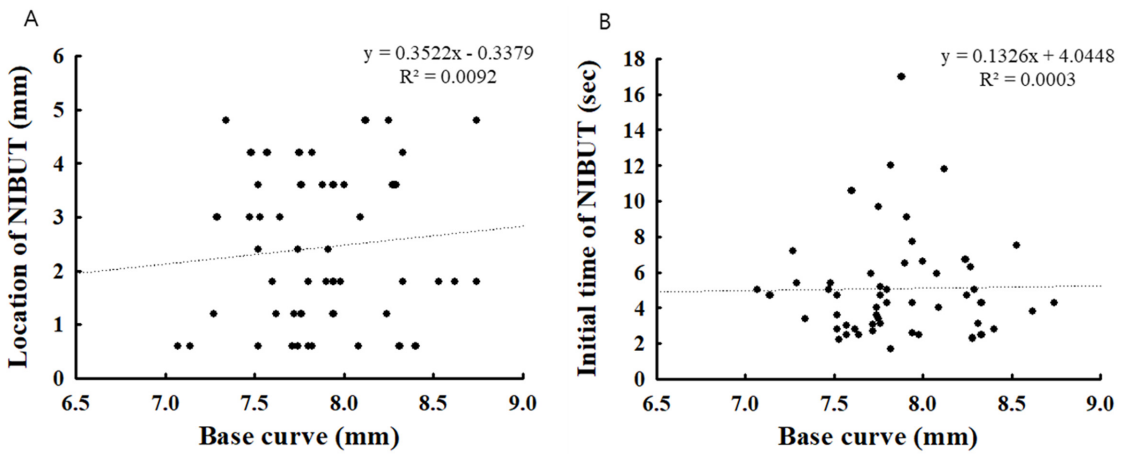


Fig. 2. Destruction time and destruction location according to the radius of curvature of the central cornea. A. Tear film break up location according to the radius of curvature of the central cornea. B. Tear film break up time according to the radius of curvature of the central cornea.

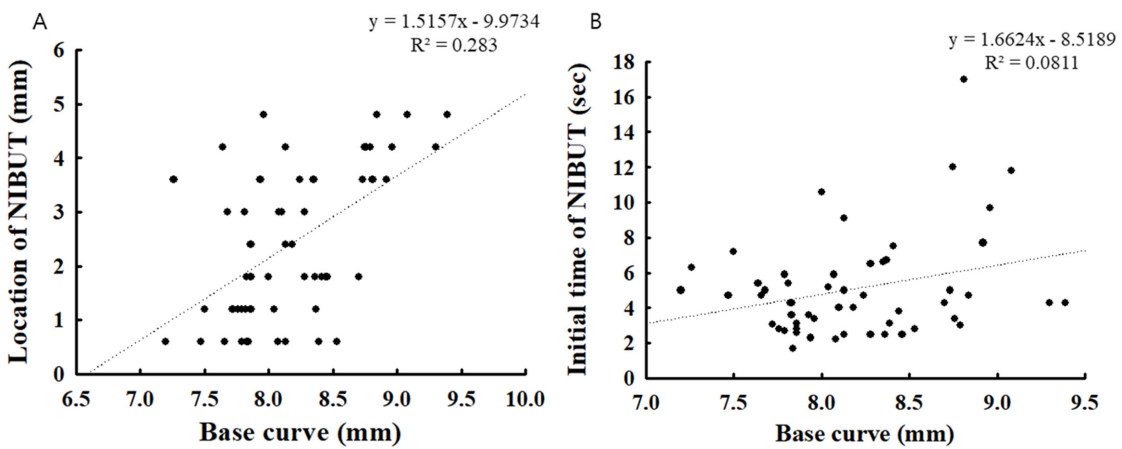


Fig. 3. Destruction time and destruction location according to the radius of curvature of the cornea at the broken location. A. Tear film break up location according to the radius of curvature of the cornea at the broken location. B. Tear film break up time according to the radius of curvature of the broken cornea.

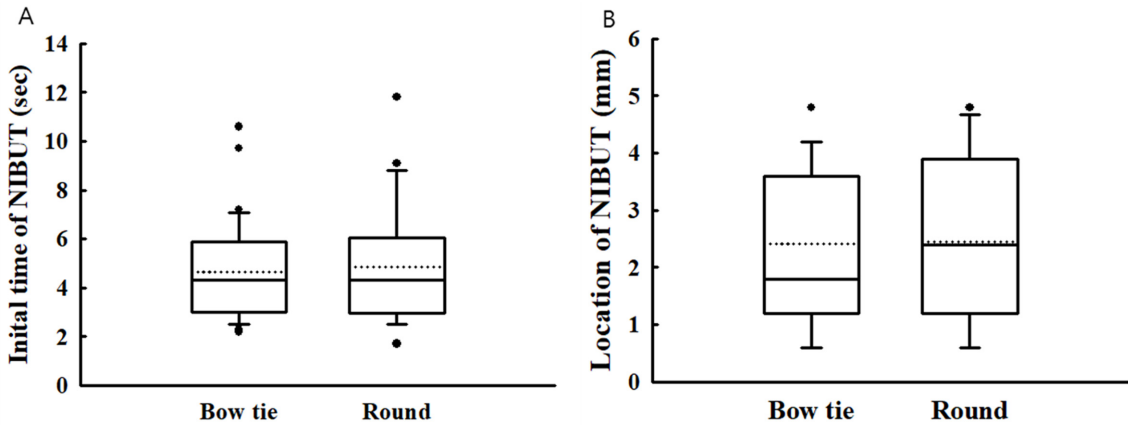


Fig. 4. Destruction time and destruction location according to the shape of the cornea. A. Tear film break up time according to corneal shape. B. Tear film break up location according to corneal shape.

눈물막 파괴 위치와 시간의 연관성을 확인해 보고자 하였다. 눈물막이 최초로 파괴된 위치의 각막 평균 곡률반경은 8.19 ± 0.50 mm이었으며, 눈물막의 파괴 시간은 평균 5.09 ± 2.90 초였다. 깨진 위치의 각막곡률과 눈물막 파괴 시간 또한 상관성을 확인할 수 없었지만, 눈물막 파괴 위치는 각막곡률반경이 커질수록 파괴 위치가 각막 중심에서 멀어지는 추세를 확인할 수 있었다(Fig. 3-A,B).

3. 각막형상에 따른 파괴 시간과 파괴 위치 비교

각막형상에 따른 눈물막 파괴 시간을 비교는 원형에서의 최초 눈물막 파괴 시간의 평균은 4.86 ± 2.49 초였고, 나비형에서 측정된 눈물막 파괴 시간의 평균은 4.63 ± 2.04 초였다. 최초 눈물막 파괴 위치에서의 원형의 평균은 2.46 ± 1.44 mm, 나비형의 평균은 2.42 ± 1.42 mm였다(Fig. 4). Mathers 등^[6]의 보고에 의하면 눈물막의 불안정성은 수성층의 고갈로 인한 것이며, 수성층의 증발속도가 눈물막의 안정성에 가장 큰 영향을 미친다고 하였다. 각막형상을 원형과 나비형으로 분류하여 비교하였을 때, 나비형에서 수직방향의 곡률반경의 변화가 더 크게 되어 나비형 각막의 눈물막 파괴 위치가 원형 각막의 눈물막 파괴 위치보다 각막중심에서 더 멀어질 것으로 생각되었지만, 실험 결과에서는 유의한 차이를 확인할 수 없었다.

4. 각막의 약주경선과 눈물막 파괴 위치 비교

각막의 곡률반경의 편평한 정도에 따른 눈물막 파괴를 확인하기 위해 주경선에 따른 눈물막의 파괴 위치를 비교하였다. 각 주경선을 기준으로 가장 편평한 경선인 약주경선 $\pm 30^\circ$ 의 범위에서 눈물막이 깨지는 비율이 44.44%, 강주경선 $\pm 30^\circ$ 에서 35.19% 그 외의 범위에서 20.37%로 약주경선 범위에서 그 차이가 크지 않지만 깨지는 비율이 높은 것으로 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 약주경선의

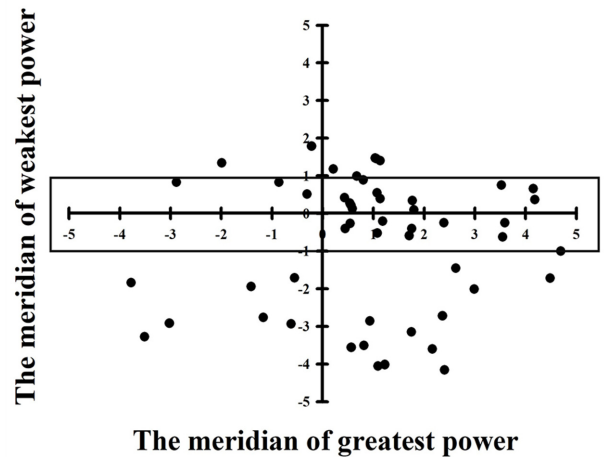


Fig. 5. The corneal meridian and tear film break up location.

노출이 다른 경선에 비해 더 많이 노출되기 때문인 것으로 생각된다. (Fig. 5).

또한, 수평방향에서의 눈물막 파괴 확률을 확인해 보았다. 수평방향을 기준으로 ± 1 mm의 범위에서 눈물막이 파

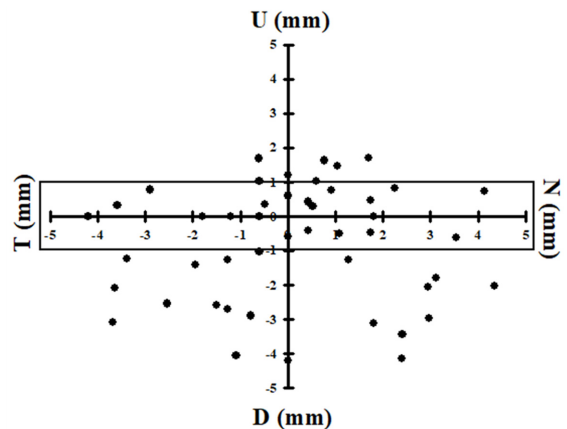


Fig. 6. Tear film break up location seen from the front.

파괴되는 확률은 55.56%로 대부분 수평경선에서 파괴되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 순목에 의해 가장 빨리 노출되는 부분이 수평방향이기 때문이라고 생각된다(Fig. 6). 눈물막의 안정성은 수성층의 증발로 인해 눈물막이 파괴되어 진다. Elliott 등^[7]은 눈물의 파괴는 안구의 하부, 각막의 중앙에서 가장 빈번하게 발생하고 각막의 위쪽 부분에서 가장 적게 발생한다고 보고하였다. 본 연구에서 또한, Elliott 등^[7]의 결과와 마찬가지로 정면에서 바라본 눈물막의 파괴 위치를 보면 중심부를 기준으로 수평면에서 파괴가 가장 많이 일어나고 상부에서는 파괴가 거의 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

결론

중심부 각막곡률과 주변부 각막곡률반경의 차이, 눈물막 파괴 위치의 각막만곡도, 각막의 형상, 가장 편평한 경선의 위치가 눈물막에 미치는 영향을 알아보기 위해 약주경선에 따른 눈물막 파괴 시간과 위치를 비교하여 확인하였다. 중심부와 주변부 각막 곡률반경 차이가 클수록 최초 눈물막 파괴 위치는 각막중심에서 멀리 깨지는 것을 확인하였고, 눈물막의 파괴 시간 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 중심부와 깨진위치의 각막곡률의 만곡도는 눈물막 파괴 위치 및 시간에 영향을 미치지 않는 것을 확인하였고, 각막의 형상에 따른 파괴 시간과 위치 또한 연관성을 확인할 수 없었다. 각막의 약주경선과 눈물막 파괴 위치 비교에서는 약주경선 부근에서 많이 깨지는 것을 확인하였고, 각막의 수평경선에서 눈물막 파괴 위치가 가장 많이 깨지는 것을 확인하였다. 눈물막 파괴에 영향을 미치는 것은 각막의 형상이 주요한 원인은 아니다. 본 연구에서 논의한 각막에 형상뿐 아니라 눈물의 분비량, 순목, 주변 환경, 주시 물체의 광량 등 다양한 요인에 의해 나타난다. 본 연구에서는 각막의 지형에 의한 눈물막 파괴의 연관성을 확인하였고, 이러한 각막형상과 눈물막 파괴에 관한 연구는 안구건조증의 경향을 판단하는데 기초 자료가 될 수 있을 것이라고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2022RIS-005)

REFERENCES

[1] McCarty CA, Bansal AK, Livingston PM, et al. The epi-

- demology of dry eye in melbourne, Australia. *Ophthalmology*. 1998;105(6):1114-1119. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(98\)96016-X](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(98)96016-X)
- [2] Craig JP, Nichols KK, Akpek EK, et al. TFOS DEWS II definition and classification report. *Ocul Surf*. 2017;15(3):276-283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.008>
- [3] Ang CK, Mohidin N, Chung KM. Effects of wink glass on blink rate, NIBUT and ocular surface symptoms during visual display unit use. *Curr Eye Res*. 2014;39(9):879-884. DOI: <https://doi.org/10.3109/02713683.2013.859273>
- [4] Moon JH, Kim KW, Moon NJ. Smartphone use is a risk factor for pediatric dry eye disease according to region and age: a case control study. *BMC Ophthalmol*. 2016;16(1):1-7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12886-016-0364-4>
- [5] Kim H. Impacts of dry eye symptoms on daily life among university students. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2022;27(2):145-151. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2022.27.2.145>
- [6] Jung YR, Park HM, Chu BS. Assessment of repeatability and reproducibility of non-invasive TBUT measurement using the bland-altman plot. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2021;26(4):307-314. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2021.26.4.307>
- [7] Davidson HJ, Kuonen VJ. The tear film and ocular mucins. *Vet Ophthalmol*. 2004;7(2):71-77. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1463-5224.2004.00325.x>
- [8] Yokoi N, Georgiev GA. Tear-film-oriented diagnosis for dry eye. *Jpn J Ophthalmol*. 2019;63(2):127-136. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10384-018-00645-4>
- [9] Oh HJ, Yoon KC, Park YG. Changes of ocular surface after silicone punctal plug insertion in patients with dry eye syndrome. *J Korean Ophthalmol Soc*. 2005;46(11):1774-1779.
- [10] Kang DW, Eom YS, Rhim JW, et al. The effects of warm compression on eyelid temperature and lipid layer thickness of tear film. *J Korean Ophthalmol Soc*. 2016;57(6):876-880. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2016.57.6.876>
- [11] Lee YJ, Kim JM, Lee KJ. Analysis of accuracy of tear breakup time (TBUT) and non-invasive TBUT. *Korean J Vis Sci*. 2017;19(3):257-266. DOI: <https://doi.org/10.17337/JMBI.2017.19.3.257>
- [12] Fan R, Chan TCY, Prakash G, et al. Applications of corneal topography and tomography: a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2018;46(2):133-146. DOI: <https://doi.org/10.1111/ceo.13136>
- [13] Liu Z, Pflugfelder SC. Corneal thickness is reduced in dry eye. *Cornea*. 1999;18(4):403-407. DOI: <https://doi.org/10.1097/00003226-199907000-00002>
- [14] Kaido M, Matsumoto Y, Shigeno Y, et al. Corneal fluorescein staining correlates with visual function in dry eye patients. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52(13):9516-9522. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.11-8412>
- [15] Jing D, Jiang X, Ren X, et al. Change patterns in corneal intrinsic aberrations and nerve density after cataract sur-

- gery in patients with dry eye disease. J Clin Med. 2022; 11(19):5697. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11195697>
- [16] Mathers WD, Lane JA. Meibomian gland lipids, evaporation, and tear film stability. Adv Exp Med Biol. 1998; 438:349-360. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5359-5_50
- [17] Elliott M, Fandrich H, Simpson T, et al. Analysis of the repeatability of tear break-up time measurement techniques on asymptomatic subjects before, during and after contact lens wear. Cont Lens Anterior Eye. 1998;21(4): 98-103. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1367-0484\(98\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S1367-0484(98)80002-7)

각막 형상이 눈물막 파괴 시간과 위치에 미치는 영향

장예진¹, 강현구², 김수강³, 박상일^{2,*}

¹가톨릭관동대학교 대학원 의료공학과, 학생, 강릉 25601

²가톨릭관동대학교 의료융합대학 안경광학과, 교수, 강릉 25601

³가톨릭관동대학교 의료융합대학 임상병리학과, 교수, 강릉 25601

투고일(2022년 11월 24일), 수정일(2022년 12월 13일), 게재확정일(2022년 12월 27일)

목적: 본 연구는 각막의 형상과 비침습적 눈물막 파괴 시간(NIBUT, Non-invasive tear break up time) 검사를 통하여 각막 형상이 최초 눈물막 파괴 시간과 위치에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. **방법:** 안질환이 없는 20대 남녀의 54안을 대상으로 각막지형도 검사기를 이용하여 각막형상을 원형(원, 타원)과 나비형(대칭, 비대칭)으로 분류하였고 최초 눈물막 파괴 시간과 파괴 위치를 측정하였다. 중심부와 주변부 각막곡률반경 차이와 각막형상에 따른 최초 눈물막 파괴 시간과 위치 차이를 확인하였다. 또한, 약주경선의 방향과 눈물막 파괴 위치의 상관관계를 비교하였다. **결과:** 중심부와 주변부 곡률반경의 차이가 0.05 mm 미만일 때 최초 눈물막 파괴 시간은 1.92초 짧았고, 눈물막 파괴 위치는 평균 2.24 mm 중심부에 가까운 곳에서 깨졌으며 이는 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 중심부 각막곡률반경의 가파른 정도에 따른 눈물막 파괴 위치와 시간의 차이의 연관성을 확인할 수 없었고, 눈물막이 깨지는 지점의 각막의 만곡도가 눈물막이 깨지는 시간과 깨지는 위치로 비교했을 때 또한, 상관관계를 확인할 수 없었으며, 각막형상이 원형인 경우와 나비형인 경우의 눈물막 파괴 시간과 위치와의 유의한 차이는 확인할 수 없었다. 눈물막 파괴 위치는 각막의 약주경선과 44.44% 깨지는 위치가 일치하였고 수평경선에서의 눈물막 파괴 위치가 55.56%인 것을 확인할 수 있었다. **결론:** 본 연구 결과 중심부와 주변부 각막곡률반경의 차이는 눈물막 파괴에 영향을 미치는 것을 확인하였고, 각막의 형태와 중심부 만곡도는 눈물막 파괴 시간과 위치와의 상관성을 확인할 수 없었다. 눈물막 파괴 위치는 약주경선과 수평방향에서 더 많이 깨지는 것을 확인할 수 있었다.

주제어: 안구건조증, 눈물막파괴시간, 눈물막파괴위치, 각막형상