

원추각막의 각막지형도 분석

김덕훈

마산대학교 안경광학과

Analysis of Corneal Topography in Keratoconus

Douk-Hoon Kim

Department of Optometry, Masan University

(Received July 05, 2016; Received July 25, 2016; Accepted July 30, 2016)

Abstract

The analysis of cornea morphology using corneal topographers is a clinical practice for the diagnosis of keratoconus in contact lens fitting. The recently technique has developed with the possibility of achieving a great number of measuring points of both anterior and posterior corneal surfaces in cornea.

Also these data are used to extract a series of topographic valuation indices that permit to offer the most exact clinical diagnosis of keratoconus in contact lens fitting.

This study describes the technologies in which current corneal topographers are based on the morphological characteristics that the keratoconus status observe on corneal surface. Therefore, this paper can provide that the analysis of corneal topographers applied for the diagnosis of keratoconus in contact lens fitting.

Key Words : Contact lens fitting, Cornea, Diagnosis, Kertoconus, Topography

*Corresponding author : doukhoon@naver.com

1. 서론

각막은 인간 눈의 전체 굴절의 약 2/3을 차지하는 시력에 큰 영향을 미치는 조직이다.

이 같은 각막에 대한 연구에서 초기 연구는 임상진단을 위한 최초의 형태적인 측정을 눈알의 표면위의 외형의 단순한 관찰을 하는데 있다고 생각했다.¹⁾ 그후 17세기에 Schiener²⁾는 각막 형태의 특징을 위한 최초의 고안을 제시하였다. 그는 계산을 통해서 구면으로 각막 전면 모양의 영상을 반사하여 비교 연구하였다. 19세기 중엽에는 Goode Keratoscope가 고안되어 환자의 각막위에 투사된 밝은 정방향 대상물의 측면 반사를 이용해서 검사를 하였다.

현재 각막의 지형은 1880년에 Antonio Placido da costa³⁾에 의해 Goode Keratoscope에 기초를 두고 개발하였다. 그가 개발한 장치는 각막위에 동심원상의 투사를 통해서 각막 전방 표면의 정확한 측정을 하도록 하였다. 즉 검사판을 수동 조작에 의해서 지지되면서 동심원상의 링이 연속적으로 유지되며, 중심에 소공을 가지는데 이는 검사자가 입사광선이 환자가 위치한 뒤에서 각막 표면의 반영된 Catoptrics영상을 보는 것이다.

19세기 후반기에 Javal은 각막형태의 양적 분석을 최초 수행한 것으로 각막계에 Placido discs를 결합하여 각막영상의 넓은 시야를 영상으로 획득하는 것을 고안하였다. 그는 나타난 영상을 사진으로 재생되도록 하였고, 모식도 위에 이것이 나타나도록 고안하였다. 즉 각막 표면에서 관찰된 곡률에서 변화에 대한 분석을 하는데 목적을 두었다.

1986년 Gullstrand^{4,5)}는 Placido disc영상을 최초로 양적으로 분석하는 것을 고안하였다. 그는 각막계의 영상에 disc를 결합 하였다. 그리고 수리 algorithm에 의해서 각막 곡률을 계산하기 위해서 현미경을 사용하여 각막사진을 찍는 방법을 고안하였다.

1980년 초기에는 영상을 아날로그에서 디지털로 만들었고, 후에는 컴퓨터 분석을 하게 되었다. 그후 새로운 컴퓨터 장비의 개발로 이런

과정의 전체가 자동화가 디지털 카메라에 영상이 포착되게 하여, 바로 컴퓨터에서 분석을 하도록 하였다. 최초로 완전한 각막 지형도는 CM-1이라 하였다. 이는 Computed Anatomy Inc(USA)에 의해서 개발되었다.

이런 과정을 거치면서 각막지형이 현재 기법으로 개발되게 되었다. 이 같은 검사장비의 개발의 목적은 주로 각막 표면위에 원추각막의 표면에 대한 주요한 형태적인 측정을 가능하게 하는 것이다. 또한 각막 지형에 의해 제공된 주요 평가계수를 수치화하고 이것이 원추각막 진단에 응용하게 하게 되었다. 본 연구의 조사는 이 같은 다양한 각막지형도의 기법을 분석하여 원추각막에 대한 진단 및 콘택트렌즈 처방에 대한 임상적 지식을 제공하고자 하는데 있다.

2. 본론

2.1. 각막 지형도: 기법

각막지형도는 각막의 형태를 양적과 질적으로 모두 분석하는 비침습 기법이다⁶⁾. 이것은 각막의 기하학적인 특징을 나타내고 병적인 조건에 의한 원인으로 각막으로 인한 시력장애의 잠재적 손상 대한 자세한 진단 기준을 표준화 형태를 나타낸 것이다^{7,11)}.

각막지형도는 다음과 같은 기법을 기초를 둔다.

2.1.1. 광반사에 기초를 둔 시스템

이 기법에 기초를 둔 각막지형도는 Videokeratoscope라 부른다. 이는 링 또는 placido disc가 알려진 크기와 공간을 가지는 것으로 각막의 전방 표면에 반사를 가지는 도구로서 볼록거울의 기하학적 원리를 응용한 것에 기초를 둔다. 즉 링의 가장자리를 확인하는 것에서는 각막지형도는 각막 곡률의 알고리즘을 구성하여 사용하는 것이다. 소위 arc step 알고리즘이 대개 사용되고 포인트에서 포인트까지 arc의 수열을 사용하여 확인하는 과정에 기초를 둔다. 이과정은 획득된 자료를 위해서 이전

단계에서 획득 된 자료를 무사히는 것은 아니다¹²⁻¹³⁾.

즉 기법은 영상을 디지털 카메라에 의해서 포착하고 컴퓨터에 의해서 과정을 진행한다.

각막 표면의 방사상 곡률에서 유래된 높고 경사된 자료는 Louisiana대학교에서 개발한 칼라 값에 따라서 지도를 연속적으로 전체 표면의 각막계 값으로서 지형도에 나타낸다¹³⁾ (Fig1.).

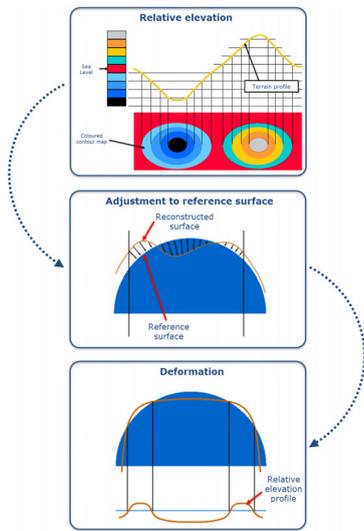


Figure.1. Corneal topography

통상 청색과 보라색은 참조 구면 아래의 편평 곡률과 상승 값을 나타낸다. 한편 초록과 노란색은 중간색상으로 참조 구면과 동등한 중간 곡률과 상승 값을 나타낸다. 붉은색은 참조 구면위의 높은 곡률과 상승 값을 나타낸다.

2.1.2. 슬릿광의 투사에 기초를 둔 시스템

이것은 각막 지형을 이중 기법의 해석에 기초를 둔다.

첫 번째는 placido disc의 투사가 포함되는 과정이 포함되고, 다음은 각막위에 슬릿광의 투사인 것이다. 이러한 조합된 영상은 각막 앞 부위의 각막 상승의 정확한 자료를 제공할 수가 있다¹⁶⁾. 첫째 과정은 반사에 의해 얻어지는 거울 영상인 placido disc의 투사가 포함되는 과정이

다. 그리고 각막 곡률과 굴절력을 나타내는데 이는 arc-step 알고리즘에 의해 획득되는 것이다. 두번째 단계는 각막위에 slit 광의 투사를 한다.

각막의 투명한 구조 때문에 Rayleigh scattering을 이용하여 사진으로 나타낼 수 있다. 이러한 영상은 전체 전면 구획에서 각막의 단순한 자료를 정확히 제공 받을 수 있다¹⁶⁾.

이 시스템은 표준 또는 정상적인 사진의 원리에 기초를 둔다. 이것의 주요 특징은 카메라 렌즈의 평면이 영상과 함께 평행하게 위치 시키는 것이다.

이것은 단지 적은 지역에서 필름면의 신장된 영상이 초점된다. 그리고 렌즈와 초점면은 평행하게 한다(Figure 2)¹⁷⁻¹⁸⁾

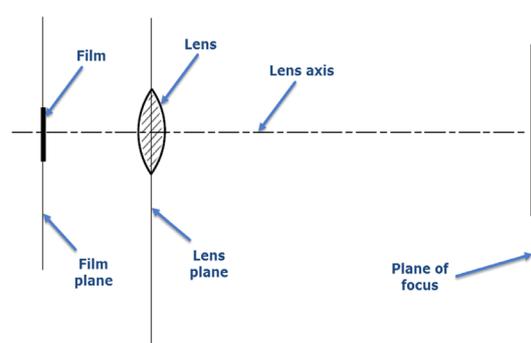


Figure 2. Principle of standard photography

Scheimpflug 사진의 원리에 기초를 둔 시스템은 주요 특징이 카메라 렌즈의 면이 영상의 측방에 놓여 있다는 것이다. 렌즈와 초점면은 평행하지 않는 것이다(Figure 3)¹⁸⁾.

그러므로 초점 지역은 증가되고 영상의 정밀함은 개선된다^{10,21,22)}.

2.1.3. 다양한 색상과 LEDs의 비대칭 반사에 기초를 둔 시스템

이것은 볼록렌즈 거울 보다는 같은 광학적 원리에 기초를 둔다. 그러나 이 경우에 다층 비대칭 반사방출이 다양한 색상의 LEDs이다.

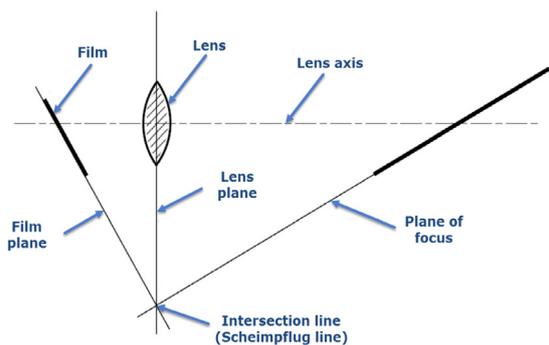


Figure 3. Principle of Scheimpflug photography

특히 이 시스템은 색상의 붉은 색, 노란색, 초록색에서는 700LEDs 보다 크게 비대칭 분포로서 판넬을 형성하며, 각막위에서는 더욱단색광으로 투사해서 얻은 자세한 지형의 결손 부위를 더욱 정확하게 제공한다¹⁹⁻²⁰. 각막 표면의 지형을 더욱 정확한 재구성을 한다. 즉 투사가 단색광을 했을 때 얻어지는 결과보다도 더욱 상세한 결과를 알 수가 있다.

이 시스템은 주요한 새로운 각 LEDs 투사의 반사를 위한 유일한 재구성 알고리즘의 사용이다.

알고리즘의 독립된 사용은 다른 LED 투사를 위해서라도 사용된다.

이 같은 새로운 점들은 단색광 광선의 투사에 기초를 둔 것이 이런 회복이 있는 곳에서는 기술된 이전 시스템에 의해 조사를 하는 주요 차이를 둔다. 그리고 각막 표면의 점의 모두를 위한 재구성된 알고리즘을 사용한다.

더욱이 새로운 자취는 국소 수준에서 상세함을 허용한다. 각막 표면에서 위치를 모두 확인되고 이것이 곡률 또는 상수를 보여준다.

독특한 상업적 장비는 이 원리에서 기초를 두며, 현재 이용은 Cassini color LED 각막 분석기(i-optics, The Netherland)이다¹⁹⁻²¹.

2.2. 원추각막의 각막 지형도 분석

원추각막은 원추 모양의 돌출에 의한 전방 각막 표면에 지형의 특성을 가진다²³⁻²⁴. 일반적으로 이는 하이측 방향에 이탈을 가지는 것으

로 상승 지형에서 가장 적당한 표면의 커브 보다도 높은 지역으로 물리적인 해석을 가진다. 그리고 곡률 지형에서도 더욱 커브된 것을 가진다. 각막의 이 같은 특성은 원추각막의 정도를 표시해서 임상에서 해석되고 진단된다. 즉 46 디옵터 또는 그 이상의 높은 케라트미터 값을 원추각막 질병으로 여기고, 이를 타각적 사인으로 임상에서 반영하고 있다²⁵.

각막의 중앙곡률에서 이 같은 비정상 위치는 중심 주변지역 즉 내하측과 내외측 지역 1/4에도 나타난다. 특히 주변지역은 증례의 72%를 구성하며 이 같은 증례의 약 25%는 중심지역이 포함된다. 그러므로 원추각막 증례의 97%는 중심과 중심 주변각막지역에 위치하며 이곳은 주변지역에 돌출의 나타남을 공통성이라 기술 된다²⁶⁻²⁸.

전안부 모양의 표면에서 돌출의 명확성은 각막에서 구조적 허약함을 발생시키고 역시 이는 후방 각막모양 표면의 형태변화도 의미하는 것이다. 이는 건강한 각막과 비교해서 곡률의 증가됨을 나타내고 심지어는 이 같은 현상은 초기 단계에서도 그렇다²⁹. 여러 연구들이 건강한 각막에서도 전후 표면 사이에 기하학적인 연관성에서 특성과 임상적 평가가 될 수 있음을 보고 하였다³⁰⁻³¹. 또한 원추각막 질병에서도 그렇게 확인 된다³².

일부 연구에서 각막의 후방 표면의 상승과 곡률 평가에서도 원추각막을 가지는 경우에 이 평가의 양적을 평가로서 임상에서 경시되는 원추각막의 진단을 위한 임상도구로서 이같은 변화를 평가에 이용한다³²⁻³³.

원추각막지형도는 원추각막 표면의 특성을 측정하여 나타내는 것으로 다양한 지형을 제공한다. 임상 의사들은 측정된 값은 임상적 견해의 관점에서 가장 좋은 정보를 얻기 위해서 각 증례 마다 해석을 한다²². 즉 절대 값은 색깔 위에 측정 가능한 지형으로 전체 디옵터 범위를 준다. 그래서 이곳은 적은 변화에 대한 감수성을 잃게 되고, 상대 값을 각 각막의 굴절력 디옵터 측정 범위에 적용한다.

그래서 이것은 적은 변화에 민감하고 각막의

지형이 컴퓨터로서 분석을 위해 더욱 중요시 된다^{7,9,26,34}).

현재 각막지형도는 다음과 같은 지도를 제공한다.

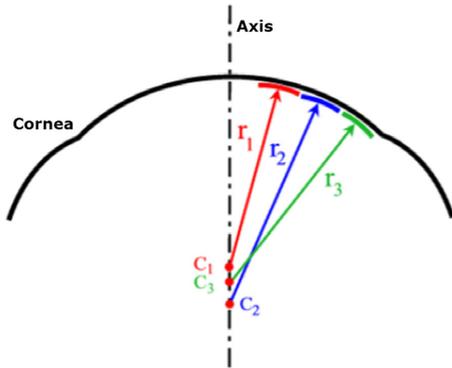


Figure 4. Geometric reconstruction of the corneal sagittal map

2.2.1. 곡률각막 지형

이것은 각막표면의 각 지점에서 곡률에 관해서 정보를 제공하는 것이다. 그리고 축과 탄젠트도 파악할 수가 있다. 국소 곡률에 대한 정보에서도 양측은 차이가 존재 한다^{9,35}).

2.2.2. 경사 지형

지형의 이 형태는 광학적 축 위에 중심 곡률을 고정시키고, 각막 표면은 구면 기하학으로 생각을 해야 한다, 이는 각막 주변을 전체적으로 평평하게 고려해야 한다. 이것은 원추의 예리한 지역보다는 크고, 주변 커브지역을 가지는 결과인 것이다. 그러나 이것은 각막이 구면 표면을 가지는 것으로 paraxial 접근에서는 각막의 진실한 외곡을 의미하며 양적인 부정확함을 제공하는 것이다^{9,22,35,36}).

그러나 이 지형도는 이것이 각막의 기하학적인 윤곽을 프로그램화하기 때문에 색상을 통해서 양적인 평가를 하는데 유용하다. 장점은 경험이 적은 검사자도 결과를 해석이 쉽다²²(Figure 4).

2.2.3. 탄젠트 지형

이 지형도는 각막의 구면형태를 측정하는 것은 아니다. 그러므로 탄젠트 커브 알고리즘은 중심이 각막의 축에 위치하지 않는 경우에 국소 각막 곡률반경의 수단에 의해 각막 표면을 재구성하는 것이다. 이 지형도는 주변 각막 지역의 곡률을 더욱 정확하게 나타낼 수 있다 (Figure 5)²². 이 지형도는 획득된 자료의 높은 감수성을 가지며 중심이탈 각막 형태의 모니터링을 위해 아주 적당한 것이다. 그러나 축의 지형 보다는 값이 분명하지 않고, 해석이 아주 복잡하다.

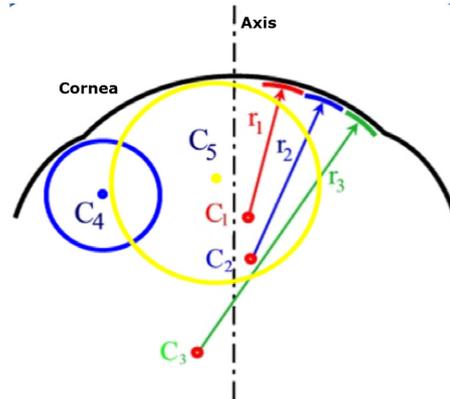


Figure 5. Geometric reconstruction of the corneal tangential map

2.2.4. 상승 지형

이 지형도는 각막 지형도에 의해 측정된 것을 직접 나타내는 것은 아니다. 그러나 가장 좋은 적합 된 표면에 대해서 전후 각막 표면의 재구성을 비교하는데 사용된다.

전형적으로 구면, 환상면, 회전타원체 또는 비정상 타원체를 획득한다.

양측 표면 사이의 차이는 상승 지형도에 대응하는 고각도의 측량에 의해 제공된다(Figure 6)^{14,37,38}.

부가해서 전형적으로 참고 표면의 치수는 직경이 8mm 둘래를 가진다.

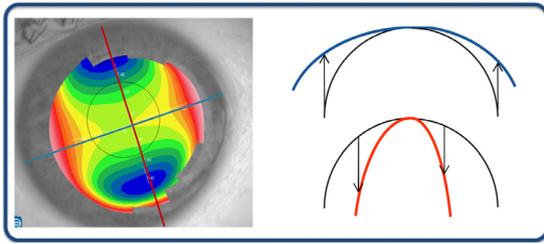


Figure 6. Altimetry elevation map in corneal topography

2.2.5. 두께 지형

이 지형은 각막 지형도에 의해 측정된 것을 직접 나타내지는 않는다. 그러나 각막 표면의 전방과 후방 표면의 사용을 사전에 재구성하는 것이다. 이 지형도는 최소 두께점의 정보화를 제공하고, 각막의 중앙위에 위치정보를 준다.

이 지점은 각막 표면의 위치를 위해 필수적이며, 원추각막의 진행을 위한 정도를 각막의 점차적인 얇아짐을 결정하는데 정보를 제공한다⁴¹⁻⁴²⁾.

일부 연구자들은 과학적인 문헌에 의존해서 중심에서 주변으로 각막 두께의 평가는 0.1mm 의한 분리된 동심원상 링의 평균 두께에 의존하는 것으로 사용된다. 이 윤곽은 건강한 각막 보다는 병리적인 단계에서 더욱 갑작스런 변화를 나타낸다^{35,43,44)}.

2.3 원추각막의 각막 지형도 형태

임상에서 원추각막 용어는 단지 공통적인 것은 중심 또는 중심주변 각막의 가파름에서 다양한 모양의 조건의 전체적인 스펙트럼을 기술하는 것이다. 아직 각막 지형도에서 원추 중심과 중심 주변부 각막 아래에 있는 것은 콘택트렌즈 디자인의 성공과 실패에 대한 중요한 영향이 될 수가 있다.

현재 임상에서 가장 많이 사용되는 검사장비는 Pentacam(Figure 7)이다.



Figure 7. Pentacam

이 같은 장비를 이용한 원추각막은 콘택트렌즈 피팅기법의 더 좋은 이해를 위해서는 이것은 진단의 조건에 관련되는 중심과 중심 중앙 주변 각막지형도의 분명한 것을 생각하기 위하여 분명하게 하는 것이다.

원추각막의 진행에 따른 지형의 모습을 다음과 같이 분류하였다⁴⁵⁾.

전형적인 원추각막은 각막의 정점 내하방에서 시작되는 원추모양을 가진다(Figure 8).

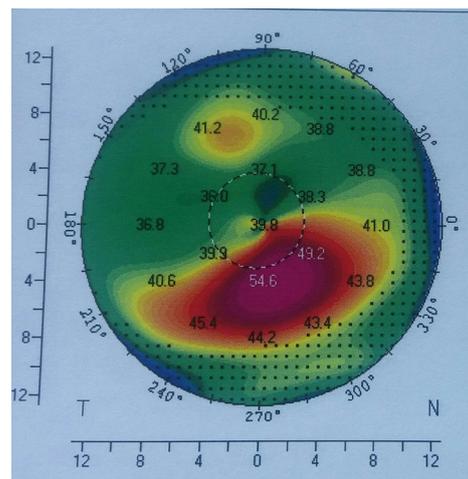


Figure 8. Topography of Keratoconus

원추각막의 진행초기에 원추각막에서 각막경 조사는 각막 중앙선의 가까운 아래 중앙 주변

에서 발생하는 최초의 가파름을 가지는 중심 마이어상의 특징적인 타원형 모양의 신장된 모습을 나타낸다. 이것은 한 개의 서로 다른 것에 대한 케라도 미터검사상의 링의 가까운 근부에 의해서 특징이 된다.

중양선 위에서 회전성 가파름이 포함되는 비측에 넓어짐을 갖는다.

중양선에 관해서 상부각막의 곡률이 서로 비슷한 곡률을 가지는 상대적으로 정상으로 남고 또는 이보다 편평한 비원추각막에서 그렇게 남는다.

조건이 진행되므로서 가파른 것은 하부 6시 방향, 그리고 하비측 각막을 포함해서 더욱 코쪽으로 넓어질 수가 있다. 진행된 원추각막에서는 회전성 가파름이 되는데 이는 이측, 상이측 그리고 상측 12시 각막이 포함되는 경로에 따라서 중양선에 각막의 상측 1/4은 통상 마지막 영향을 받는 것이다. 그러므로 가끔 정상 각막의 지역은 상이측이 남는다.

이곳에서는 진행되는 각막 변화의 이 형태가 예외를 갖는다. 그러나 연속 각막경 평가는 대개 원추각막은 이 나선상 진행에 따라서 원추각막이 포함된다.

유두원추 각막은 특징적으로 원추각막의 nipple 형태는 직경에서 5mm보다 적고 중심 부근 확장에서 구성된다. 유두 원추각막의 가장 뚜렷한 특징은 1. 각막의 중심 5mm에 한정된 직난시 각막 토크의 높은 정도를 가진 경우 2. 각막의 기저 둘레에는 정상 중심 주변 각막의 약 360도 근처이며 침부에서 상승된 섬유의 새로운 조직 결절이 때때로 나타나며, 그래서 이름은 유두 모양의 원추각막이라 한다. 가파른 중심에서 더욱 정상 중심 주변 각막으로 곡률의 급속한 변화는 RGP로서 처방을 위해 가장 어려운 원추각막의 유두 형태를 만든다. 하드렌즈는 가끔 상부 섬유 과증식 결절에서 시작된다. 그래서 이러한 환자는 가끔 RGP/soft piggy back 콘택트렌즈 디자인이 요구된다. 고객을 위한 원추각막의 소프트 렌즈 또는 수동식 상피 각막 절개 또는 광치료 각막절개로서 결절의 수술적 제거가 필요하다.

난형 원추각막은 진행된 원추각막에서 가장 흔한 형태는 난형이다. 이는 각막 침부가 중심 부 아래에 대치되고 그 결과 하중양 주변의 가파른 정도가 다양한 결과를 가진다. 하부가 정확히 180도 떨어진 상부 각막의 정상 또는 정상보다 평평한 모습을 가진다.

이측 원추각막은 침부 지역에 의미 있게 귀측으로 이동된 원추각막의 난형 원추각막 나타남의 변이를 기술한다. 이 형태는 이측 원추각막이라 기술하며, 연속적 비측 편평 값에 의해서 분명해 진다.

구상원추각막은 원추각막의 구상형태가 크며, 각막 표면의 거의 3/4를 누르는 것이다.

이 같은 크기 때문에 케라토크리터 링은 거의 모두는 확장된 지역에서 포위 모습을 가진다.

유두 또는 난형 원추각막에서 진행된 형태와 달리 구상형 각막은 중양선 위 또는 아래에서는 정상 중양부 주변의 각막에 대한 섬은 아니다.

이상에 원추각막의 진행 또는 증상에 따라서 지형의 모습도 다양하다.

5. 결 론

본 연구에서 각막의 주요한 특징은 각막의 일부 또는 전체에서 불규칙성의 수준을 양적으로 계속 연속적으로 확인하는 가능성을 가지는 것이다. 과거 연구자들은 임상연구에서 정상과 원추각막 사이 또는 원추각막의 심한 단계 또는 등급 사이에 구분의 허용 값을 차단하는데 사용하였다. 그러나 이러한 계수는 두가지 문제를 가지고 있는 것이다. 각 계수는 이것의 개발된 각막 지형도의 높은 특수한 값을 가지는데 다른 각막지형도에 대해 직접 조사하는 가능성은 없다. 또한 유일 또는 다양한 값의 계수는 100% 감수성 또는 특수성을 가지는 원추각막의 진단을 위한 임상적 매개 변수를 제공하지는 않는다. 이 같은 이유로 현존하는 기법과 각막 가장자리 계수의 질적인 문헌에 기술된 이후, 현재 논문은 각막의 완전한 형태분석을 위한 새로운 기법으로 여러 가지 지형도의 계수가 가장 정확성 그리고 신뢰성이 있는 임상진

단 자료의 목적을 위해 동시에 분석된 것의 개념을 기술하고자 한 것이다.

따라서 각막 지형도는 임상진단의 정확성을 높이기 위해서 향후에도 다양한 기법의 개발이 있어야 하며, 기법은 콘택트렌즈 진단, 처방 및 각막 교정술 등에 적용하며, 임상적으로 검증되어야 한다고 여겨진다.

References

- Güemez-Sandoval E, Güemez-Sandoval JC. Representaciones anatómicas del ojo a través de la historia. De Hipócrates a Mollinetti. Revista Mexicana de Oftalmología. 2009; 83(3):186-191.
- Gutmark R, Guyton DL. Origins of the keratometer and its evolving role in ophthalmology. Surv Ophthalmol. 2010; 55(5):481-497.
- Nover A. 100 years of ophthalmology. Fortschr Med. 1982;100(47-48):2222-7.
- Sulek K. Prize for Allvar Gullstrand in 1911 for works on dioptrics of the eye. Wiad Lek. 1967;20(14):1417.
- Timoney PJ, Breathnach CS. Allvar Gullstrand and the slit lamp 1911. Ir J Med Sci. 2013;182(2):301-305.
- Klyce SD. Computer-assisted corneal topography. High-resolution graphic presentation and analysis of keratometry. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1984;25(12):1426-1435.
- Maldonado MJ, Nieto JC, Piñero DP. Advances in technologies for laser-assisted in situ keratomileusis (LASIK) surgery. Expert Rev Med Devices. 2008;5(2):209-229.
- Ambrósio Jr R, Caiado AL, Guerra FP, Louzada R, Roy AS, Luz A, et al. Novel pachymetric parameters based on corneal tomography for diagnosing keratoconus. J Refract Surg. 2011;27(10):753-758.
- Piñero DP, Nieto JC, Lopez-Miguel A. Characterization of corneal structure in keratoconus. J Cataract Refract Surg. 2012; 38(12):2167-2183.
- Piñero DP. Technologies for anatomical and geometric characterization of the corneal structure and anterior segment: a review. Semin Ophthalmol. 2015;30(3):161-170.
- Ambrósio Jr R, Valbon BF, Faria-Correia F, Ramos I, Luz A. Scheimpflug imaging for laser refractive surgery. Curr Opin Ophthalmol. 2013;24(4):310-320.
- Goldberg AV, Tarjan RE. Efficient maximum flow algorithms. Commun ACM. 2014;57(8):82-89.
- Maldonado MJ, Nieto JC, Díez-Cuenca M, Piñero DP. Repeatability and reproducibility of posterior corneal curvature measurements by combined scanning-slit and placido-disc topography after LASIK. Ophthalmology. 2006;113(11):1918-1926.
- Karpecki PM. Bausch & Lomb Orbiscan II/IIz anterior segment analysis system. In: Wang M, editor. Corneal topography in the wavefront era. Thorofare: Slack Inc.; 2006.
- Fernandez-Garcia P, Cervino A, Quiles-Guinou L, Albarran-Diego C, Garcia-Lazaro S, Sanchis-Gimeno JA. Corneal thickness differences between sexes after oxybuprocaine eye drops. Optom Vis Sci. 2015;92(1):89-94.
- Merklinger HM. Focusing the view camera: a scientific way to focus the view camera and estimate depth of field. Canada: Paperback; 1993.
- Dubbelman M, Sicam VA, Van der Heijde GL. The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea. Vision Res. 2006;46(6-7):993-1001.
- Piñero DP, Saenz González C, Alió JL. Intraobserver and interobserver repeatability of curvature and aberrometric measurements

- of the posterior corneal surface in normal eyes using Scheimpflug photography. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35(1):113-120.
19. Kanellopoulos AJ, Asimellis G. Forme Fruste Keratoconus Imaging and Validation via Novel Multi-Spot Reflection Topography. *Case Rep Ophthalmol.* 2013; 4(3):199-209.
 20. Kanellopoulos AJ, Asimellis G. Clinical Correlation between Placido, Scheimpflug and LED Color Reflection Topographies in Imaging of a Scarred Cornea. *Case Rep Ophthalmol.* 2014;5(3):311-317.
 21. Klijn S, Reus NJ, Sicam VA. Evaluation of keratometry with a novel Color-LED corneal topographer. *J Refract Surg.* 2015;31(4): 249-256.
 22. Buey Salas MA, Peris MC, *Biomechanica Arquitecturs Corneal*, Spain, Elsevier, 2014.
 23. Gomes JA, Tan D, Rapuano CJ, Belin MW, Ambrósio Jr R, Guell JL, et al. Global consensus on keratoconus and ectatic diseases. *Cornea.* 2015;34(4):359-369.
 24. McGhee CN, Kim BZ, Wilson PJ. Contemporary Treatment Paradigms in Keratoconus. *Cornea.* 2015;34 Suppl 10: S16-23.
 25. Zadnik K, Barr JT, Edrington TB, Everett DF, Jameson M, McMahon TT, et al. Baseline findings in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1998;39(13):2537-2546.
 26. Wilson SE, Lin DT, Klyce SD. Corneal topography of keratoconus. *Cornea.* 1991; 10(1):2-8.
 27. Prisant O, Legeais JM, Renard G. Superior keratoconus. *Cornea.* 1997;16(6):693-694.
 28. Weed KH, McGhee CN, MacEwen CJ. Atypical unilateral superior keratoconus in young males. *Cont Lens Anterior Eye.* 2005;28(4):177-179.
 29. Schlegel Z, Hoang-Xuan T, Gatinel D. Comparison of and correlation between anterior and posterior corneal elevation maps in normal eyes and keratoconus-suspect eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(5): 789-795.
 30. Montalbán R, Piñero DP, Javaloy J, Alió JL. Scheimpflug photography-based clinical characterization of the correlation of the corneal shape between the anterior and posterior corneal surfaces in the normal human eye. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38(11):1925-1933.
 31. Montalbán R, Piñero DP, Javaloy J, Alió JL. Correlation of the corneal toricity between anterior and posterior corneal surfaces in the normal human eye. *Cornea.* 2013;32(6): 791-798.
 32. Montalbán R, Alió JL, Javaloy J, Piñero DP. Correlation of anterior and posterior corneal shape in keratoconus. *Cornea.* 2013;32(7): 916-921.
 33. Tomidokoro A, Oshika T, Amano S, Higaki S, Maeda N, Miyata K. Changes in anterior and posterior corneal curvatures in keratoconus. *Ophthalmology.* 2000;107(7): 1328-1332.
 34. Smolek MK, Klyce SD, Hovis JK. The Universal Standard Scale: proposed improvements to the American National Standards Institute (ANSI) scale for corneal topography. *Ophthalmology.* 2002;109(2): 361-369.
 35. Ambrósio Jr R, Nogueira LP, Caldas DL, Fontes BM, Luz A, Casal JO, et al. Evaluation of corneal shape and biomechanics before LASIK. *Int Ophthalmol Clin.* 2011;51(2):11-38.
 36. Rabinowitz YS. Tangential vs sagittal videokeratographs in the “early” detection of

- keratoconus. *Am J Ophthalmol.* 1996; 122(6):887-889.
37. Chan JS, Mandell RB, Burger DS, Fusaro RE. Accuracy of videokeratography for instantaneous radius in keratoconus. *Optom Vis Sci.* 1995;72(11):793-799.
 38. Szczotka LB, Thomas J. Comparison of axial and instantaneous videokeratographic data in keratoconus and utility in contact lens curvature prediction. *CLAO J.* 1998; 24(1):22-28.
 39. de Sanctis U, Loiacono C, Richiardi L, Turco D, Mutani B, Grignolo FM. Sensitivity and specificity of posterior corneal elevation measured by Pentacam in discriminating keratoconus/subclinical keratoconus. *Ophthalmology.* 2008;115(9): 1534-1539.
 40. Khachikian SS, Belin MW. Posterior elevation in keratoconus. *Ophthalmology.* 2009;116(4):816. 816. e1; author reply 816-817.
 41. Emre S, Doganay S, Yologlu S. Evaluation of anterior segment parameters in keratoconic eyes measured with the Pentacam system. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(10):1708-1712.
 42. Alió JL, Piñero DP, Alesón A, Teus MA, Barraquer RI, Murta J, et al. Keratoconus-integrated characterization considering anterior corneal aberrations, internal astigmatism, and corneal biomechanics. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37(3):552-568.
 43. Ambrósio Jr R, Alonso RS, Luz A, Coca Velarde LG. Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: tomographic indices to detect keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32(11):1851-1859.
 44. Saad A, Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(11):5546-5555.
 45. Patrick J.C., Mark A.A., Craig N, Contact Lens, A Cordinal publication, 1977.