

안구반응분석기를 이용한 원추각막의 생체역학인자 비교연구

전혜신 · 이종수

부산대학교 의학전문대학원 안과학교실

목적: 안구반응분석기로 측정된 생체역학 인자를 분석하여 원추각막에서의 특성을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 정상인, 원추각막의증, 및 원추각막 총 72명을 3군으로 나누어 환자의 성별, 나이, 시력을 조사하였고, 세극등현미경, Pentacam 및 안구반응분석기를 시행하여 평균 각막굴절력과 중심각막두께 및 이력현상(corneal hysteresis, CH), 저항인자(corneal resistance factor, CRF)를 측정하여 비교하였다.

결과: 모든 군은 각각 24안으로 원추각막의 평균 나이는 23.83세, 원추각막의증은 26.00세, 그리고 정상 대조군은 26.13세로 나이와 성별에서는 유의한 차이가 없었다. 평균 각막굴절력은 원추각막에서 49.87D, 원추각막의증에서 45.28D, 정상 대조군에서는 42.34D로 원추각막 혹은 원추각막의증과 정상 대조군 사이에서는 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$, $p = 0.001$). 평균 중심각막두께는 세 군 간에 모두 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). CH는 원추각막에서는 원추각막의증($p = 0.025$)과 정상 대조군($p = 0.005$)에 비해 유의하게 낮은 수치를 보였고, CRF는 세 군에서 모두 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). CH와 CRF는 평균 각막굴절력과 음의 상관관계를, 중심각막 두께와는 양의 상관관계를 보였다.

결론: 원추각막에서 CH와 CRF는 정상인과 달리 측정되며, 평균 각막굴절력과 각막두께와 연관성이 있다. 특히 원추각막의증과 정상인을 감별하는 진단에는 CRF가 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2013;54(6):869-876〉

원추각막은 지속적으로 각막의 중앙부가 서서히 얇아져 돌출되는 질환으로 가장 흔한 확장성 비염증성 각막질환이다.¹ 원추각막이 진행된 경우에는 세극등 검사나 각막굴절을 검사 등으로 쉽게 진단이 가능하지만 초기 원추각막의 경우 현재로서는 각막형태 검사만이 유일하게 진행 경과를 진단하는 방법이다.^{2,3} 원추각막으로 진행되기 전의 원추각막의증은 세극등 검사나 검역법에서 이상소견을 관찰하기 쉽지 않지만, 각막지형도를 사용하게 되면 이상소견을 초기에 관찰할 수 있는데, 임상적으로는 neural network approach,⁴ kisa% index⁵ 등이 유용하게 사용되고 있다.

그러나 원추각막의 각막을 형태학적으로 연구하는 것 외에 생체역학적으로 연구한 경우는 없었으나, 각막의 이력현상을

이용한 안구반응분석기(ocular response analyzer, ORA)가 개발되면서 안과영역의 질환들이 눈의 생체역학적 측면에서 연구되기 시작하여 각막질환의 병인이나 굴절교정수술 전후 안압의 측정에 있어서 이용되어 각막조직의 연구에 점차 중요한 영역으로 주목을 받고 있다.⁶ 특히 원추각막의 진행성 병변은 각막의 생체역학적 특성과 연관되어 연구가 가능하게 되었으며, 실제로 원추각막에서 정상안보다 각막의 이력현상(corneal hysteresis, CH)과 저항인자(corneal resistance factor, CRF)가 낮게 측정되었으며,⁷ 중심각막 두께와도 유의한 연관성을 지니고 있다고 보고가 되기도 하였다.⁸

그러나 국내의 경우 원추각막에 대한 생체역학 연구는 드물며, 특히 원추각막과 원추각막의증에 관한 비교연구는 거의 없는 실정이다. Kim et al⁹이 정상 한국인에서 생체역학적 인자들의 정상범위와 연령에 대해 분석하여 각막의 점탄성과 각막두께가 연관되어 있고 연령에 따라 점탄성이 감소됨을 보고한 바는 있으나 정상인의 각막과 병적인 원추각막에서의 생체역학적으로 비교한 연구는 아직 없었다.

저자들은 Pentacam으로 측정된 평균 각막굴절력 및 중심각막두께와 ORA로 측정된 각막의 이력현상과 저항인자

■ Received: 2012. 8. 25. ■ Revised: 2013. 4. 19.

■ Accepted: 2013. 5. 15.

■ Address reprint requests to Jong Soo Lee, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Pusan National University
Hospital, #179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 602-739, Korea
Tel: 82-51-240-7323, Fax: 82-51-242-7341
E-mail: jongsool@pusan.ac.kr

* 이 논문의 요지는 2012년 아시아태평양안과학회 제27회 학술대회 및 2012년 대한안과학회 제107회 학술대회에서 포스터로 발표되었음.

* 본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발사업의 지원에 이루어진 것임(A070001).

를 정상안과 원추각막군, 그리고 원추각막의증군에서 함께 비교 분석하여 원추각막에서의 생체역학인자의 변화와 각막조직의 측정인자간의 연관성 및 상관관계에 대하여 조사하였다.

대상과 방법

부산대학교병원 안과 외래에 내원한 환자를 대상으로 원추각막, 원추각막의증 및 정상인을 대상으로 연구를 시행하였다. 원추각막군은 세극등 검사에서 각막기질의 두께 감소 및 돌출, 플라이셔 고리(Fleischer's ring), 보고트선(Vogt's line), 각막기질의 반흔 중에서 한가지 이상의 소견과 검영법에서 동공반사가 불규칙한 가위반사를 보이거나 red reflex가 왜곡되어 보일 때, 그리고 각막지형도 검사에서 skew axes 존재유무와 상관없이 심한 비대칭적인 bow-tie 형태가 관찰될 때를 원추각막의 진단기준으로 정하였다.^{10,11} 그리고 원추각막의증군은 국소적으로 비정상적인 steepening 혹은 비대칭적인 bow-tie 형태를 보이고 세극등 검사에서 정상적인 각막소견을 보이면서 3가지 각막지형도의 소견, (1) 각막지형도검사서 1.5D 이상의 sim-K 난시 (2) 47.0D 이상의 중심각막만곡도 (3) 500 μ m 미만의 각막두께 중에서 한가지 이상의 소견이 동반되는 경우로 정의하였다.^{11,12} 위의 경우에 해당하지 않는 건강한 성인으로 성별과 나이에서 유의한 차이가 없는 정상인을 대조군으로 정하였다.

환자의 성별 및 나이, 교정시력을 조사하였고, 모든 환자를 대상으로 세극등 검사, Pentacam (Oculus Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany), ORA (Reichert Inc., NY, USA)을 시행하였다. ORA 측정 시에는 셔츠의 목과 넥타이를 풀어서 느슨하게 한 상태에서 환자에게 안구에 공기가 닿을 것이라고 충분히 설명하고 눈을 뜨고 있도록 하였다. 이마받침대의 중심에 이마를 고정하고 녹색 빛을 고정하여 주시하도록 했다. 환자의 코와 턱은 안쪽으로 당겨 장비의 전면을 향하도록 하였다. 컴퓨터에 연결된 버튼을 눌러 검사를 시작하였다. 시작 직전에는 수 차례 깜박이도록 하였다. 공기가 분출되면서 생기는 각막의 내향과 공기의 분출이 멈추

면서 생기는 각막의 외향에 따른 각막의 모양의 변화를 적외선 정반사의 변화를 통해 감지하고, 최소 두 번 이상 시행하였으며 각각의 측정 시에 적어도 1분 이상의 휴식시간을 가졌고, 협조가 되지 않아 재현성이 부족한 환자는 대상에서 제외하였다.

Pentacam으로 평균 각막굴절력과 중심각막두께를 구하였으며, ORA로는 대상안의 CH와 CRF를 각각 측정하여 비교하였다. SPSS statistics 17.0 program을 사용하여 각 군 사이에 측정된 인자들의 차이를 Mann-Whitney *U* test, Kruskal-Wallis test로 비교하고 Spearman 상관분석으로 각 인자간의 상관관계를 조사하였으며 신뢰도는 95%로 설정하였다. 또한 진단능력 평가를 위해 Receiver operating characteristic (ROR) curve를 이용하여 곡선 아래의 면적을 비교하였으며, 원추각막환자와 원추각막의증 환자를 정상인과 감별할 수 있는 생체역학인자의 수치를 확인해 보고자 하였다.

결 과

총 72안을 대상으로 하였는데, 원추각막 24안, 원추각막의증 24안, 정상대조군 24안으로 각 군 간의 나이와 성별에는 유의한 차이가 없었다. 원추각막의 경우 Amsler-Krumeich 분류에 의해 24안 중 stage I이 13안, stage II가 5안, stage III이 2안, stage IV가 4안으로 분류되었다.¹³ 원추각막에서의 평균 나이는 23.83 ± 7.79 세(남자 17명, 여자 7명)이고, 원추각막 의증에서는 26.0 ± 8.54 세(남자 9명, 여자 15명), 그리고 정상 대조군에서 26.13 ± 6.15 세(남자 11명, 여자 13명)였다(Table 1).

Pentacam 값에서 구한 평균 각막굴절력은 원추각막에서 49.87 ± 6.51 D였고, 원추각막의증에서 45.28 ± 1.91 D, 정상 대조군에서는 42.34 ± 2.38 D였다. 평균 각막굴절력은 원추각막과 원추각막의증 사이에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나($p=0.077$), 원추각막과 정상 대조군 사이에서는 유의한 차이가 있었고($p<0.001$), 원추각막의증과 정상 대조군에서도 유의하게 차이를 보였다($p=0.001$). 평균 중심각막두께는 원추각막 451.6 ± 59.82 μ m, 원추각막의증

Table 1. Baseline characteristics of patients in keratoconus, keratoconus suspect, and control subjects

Parameters	Keratoconus	Keratoconus suspect	Control
Number (cases)	24	24	24
Age (year)	23.83 ± 7.79	26.0 ± 8.54	26.13 ± 6.15
Sex (M:F)	17:7	9:15	11:13
V/A (log MAR)	0.57 ± 0.54	0.13 ± 0.19	0.08 ± 0.10
IOP (mm Hg)	10.81 ± 2.23	12.09 ± 1.90	14.25 ± 3.38

Values are presented as mean \pm SD.

V/A = visual acuity; IOP (mm Hg) = intraocular pressure (mm Hg).

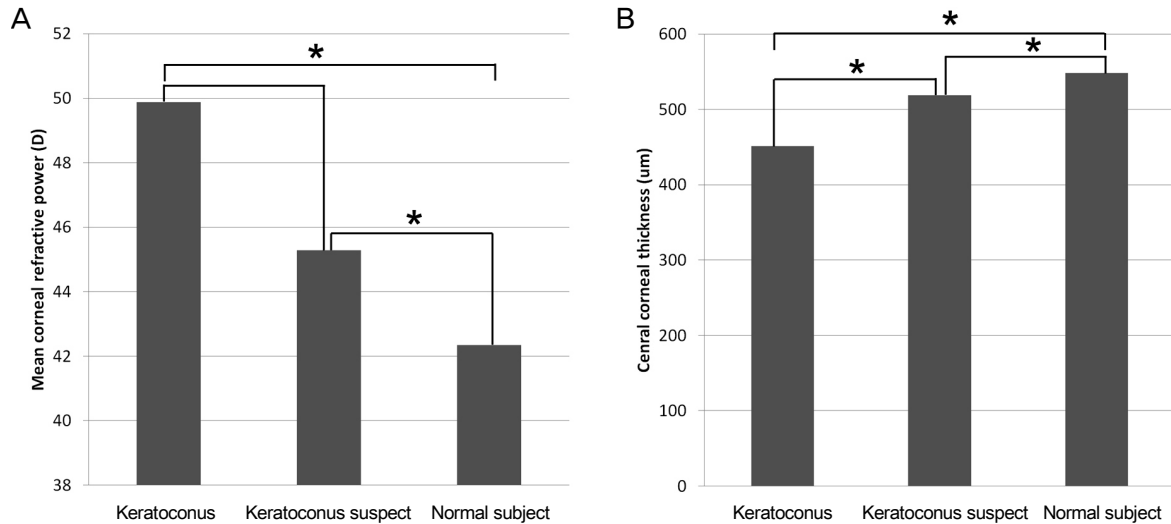


Figure 1. Comparison of mean corneal refractive power (A) and central corneal thickness (B) among keratoconus, keratoconus suspect, and normal control groups. *Indicates a pair of groups that has a significant difference between each other with $p < 0.05$.

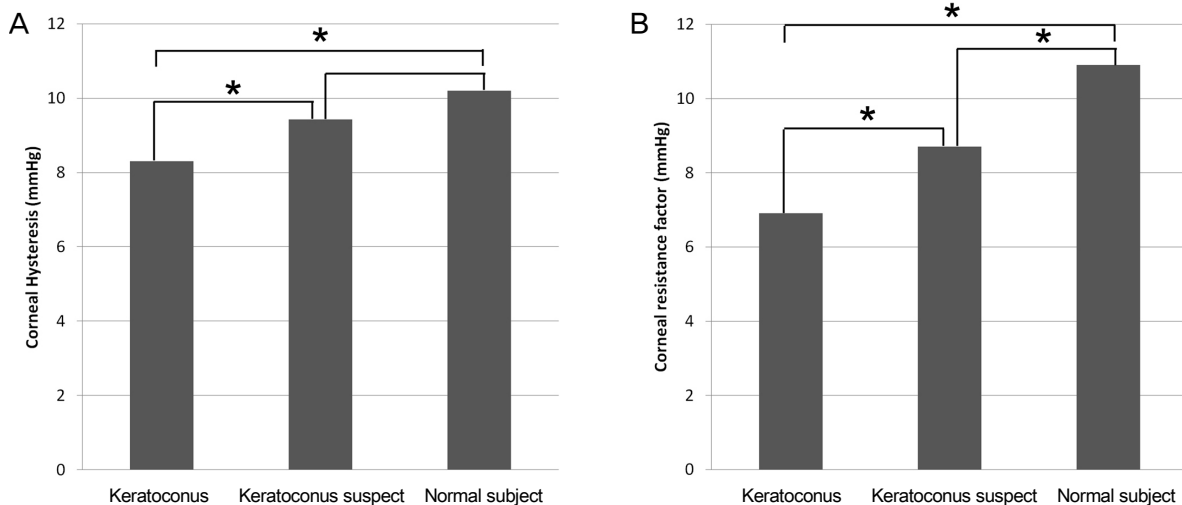


Figure 2. Comparison of corneal hysteresis (A) and corneal resistance factor (B) among keratoconus, keratoconus suspect, and normal control groups. *Indicates a pair of groups that has a significant difference between each other with $p < 0.05$.

518.64 ± 36.41 μm, 정상안은 548.5 ± 63.86 μm로 원추각막과 원추각막의증($p=0.001$), 원추각막과 정상 대조군($p<0.001$), 원추각막의증과 정상 대조군($p=0.037$) 간에는 유의한 차이가 발견되었다(Fig. 1).

CH의 값은 원추각막에서 8.30 ± 1.99 mmHg, 원추각막의증에서 9.42 ± 1.64 mmHg, 정상 대조군에서는 10.20 ± 2.08 mmHg으로 원추각막의증과 정상 대조군 사이에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나($p=0.101$), 원추각막에서는 원추각막의증과 정상 대조군에 비해 유의하게 낮은 수치를 보였다($p=0.025$, $p=0.005$, respectively). CRF의 수치는 원추각막 6.90 ± 2.23 mmHg, 원추각막의증 8.69 ± 1.81 mmHg, 정상안은 10.20 ± 2.08 mmHg으로 측정되어,

원추각막과 원추각막의증($p=0.003$), 원추각막과 정상 대조군($p<0.001$), 원추각막의증과 정상 대조군($p=0.001$) 간에는 모두 유의한 차이가 있었다(Fig. 2).

각막의 생체역학적인 인자인 CH와 CRF ($r=0.880$, $p<0.001$), CH와 CCT($r=0.646$, $p<0.001$) 그리고 CRF와 CCT ($r=0.776$, $p<0.001$)는 양의 값으로 상관관계를 보였으며, CH와 평균 각막굴절력($r=-0.072$, $p=0.042$), CRF와 평균 각막굴절력($r=-0.333$, $p=0.018$) 그리고 평균 각막굴절력과 CCT ($r=-0.248$, $p=0.038$)는 음의 값으로 상관관계를 보였다. 각 군을 기준으로 비교했을 때에는 원추각막에서는 CH와 CRF, 평균 각막굴절력과 CCT만이, 원추각막 의증에서는 CH와 CRF, CH와 CCT, CRF와 CCT만이, 정상 대조

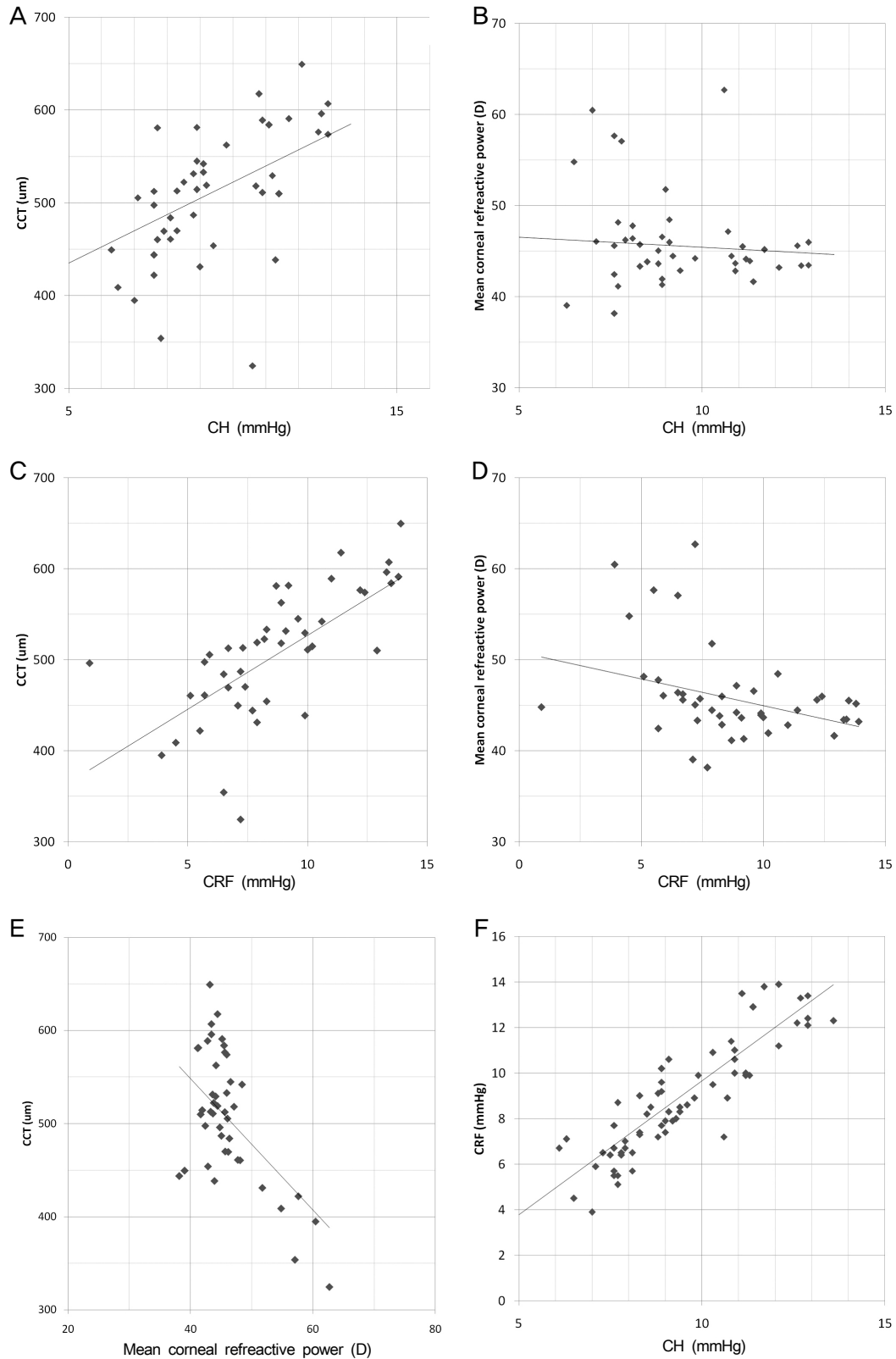


Figure 3. Parameters significantly correlated with each other. (A: Corneal hysteresis (CH) to central corneal thickness (CCT), B: CH to mean corneal refractive power, C: Corneal resistance factor (CRF) to CCT, D: CRF to mean corneal refractive power, E: mean corneal refractive power to CCT, F: CH to CRF). A, C, F showed positive correlations and B, D, E showed negative correlations.

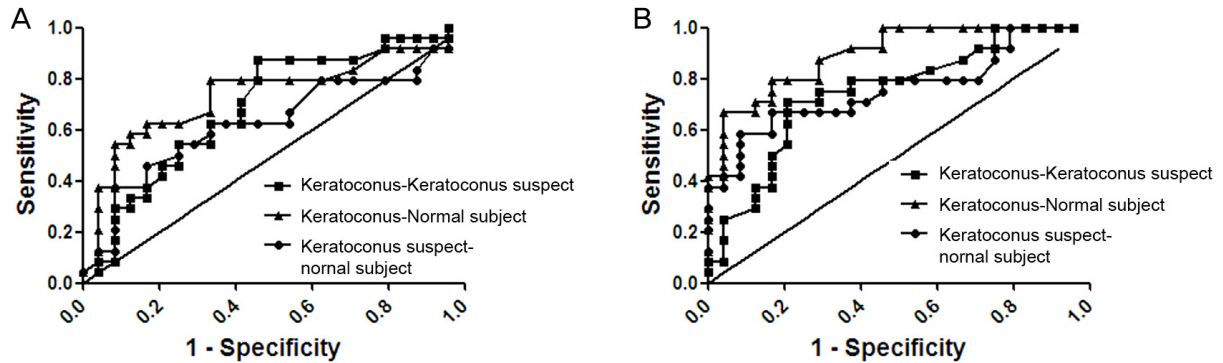


Figure 4. The receiver operating characteristic (ROC) graph showing the sensitivity and specificity of the corneal hysteresis (A) and corneal resistance factor (B) for each pair of groups.

군에서는 모든 측정값이 유의한 상관관계를 보였다. CH와 CRF는 공통적으로 모든 군에서 유의한 상관관계를 보였으며, CH와 CCT, CRF와 CCT는 원추각막의증과 정상 대조군에서만 유의한 상관관계를 보였다(Fig. 3).

원추각막, 원추각막의증과 정상 대조군을 비교하고자 ROC curve를 이용하여 곡선 아래 면적을 산출하였는데, CH에서는 원추각막과 원추각막의증 사이에서 0.689 ± 0.078 (95% CI 0.537–0.842, $p=0.025$), 원추각막과 정상 대조군 사이에서 0.737 ± 0.075 (95% CI 0.589–0.885, $p=0.005$), 원추각막의증과 정상 대조군 사이에서는 0.630 ± 0.082 (95% CI 0.468–0.793, $p=0.012$)로 나타났으며, CRF에서는 각각 0.748 ± 0.072 (95% CI 0.608–0.888, $p=0.003$), 0.894 ± 0.044 (95% CI 0.808–0.980, $p<0.001$), 0.760 ± 0.071 (95% CI 0.621–0.898, $p<0.001$)로 나타났다. CH값은 원추각막과 정상 대조군 사이에서, CRF값은 모든 군간 비교에서 0.7 이상으로 비교적 정확한 검사로 나타났으며, p 값은 유의성이 있는 것으로 나타났다(Fig. 4).

고 찰

원추각막은 각막이 진행성으로 얇아지는 질환이며, 진행 속도는 개인에 따라 다르지만, 시간이 지남에 따라 근시나 불규칙난시에 의해 시력저하 등의 증상이 심해지고, 더 진행할 경우 각막천공으로 발전할 수도 있다.^{1,14} 원추각막의 치료는 초기에는 안경이나 콘택트렌즈로 시력교정을 하고 진행했을 때는 특수 치료용 콘택트렌즈를 처방한다. 그리고 콘택트렌즈로 교정이 되지 않는 경우는 각막실질에 링을 삽입하거나 각막이식을 시행할 수 있다. 조기진단을 하면 다양한 콘택트렌즈를 사용하여 돌출되는 각막부위를 편평하게 하여 병변의 진행을 다소 지연시킬 수 있기에 조기의 진단이 매우 중요하다.¹⁵

원추각막의 진단은 세극등 검사로 쉽게 확인되기도 하지

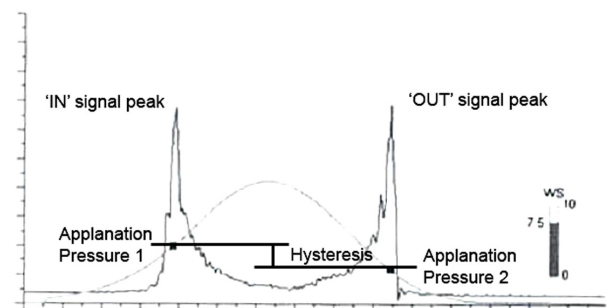


Figure 5. Measurement of corneal hysteresis using Ocular Response Analyzer (Reichert Inc., Depew, NY). It is derived from the difference between the inward applanation and outward applanation.

만, 초기의 진단은 특징적인 각막징후들이 관찰되지 않기에 세극등 검사로 진단이 힘든 경우가 많다. 따라서 각막지형도검사나 각막두께, 공초점현미경 등으로 진단에 사용할 수 있으나,^{2,3} 정상안의 편차가 크기 때문에 한가지 진단기구로 원추각막을 진단하는 데에는 한계가 있어 진단의 보조적인 도구로써 여러 가지를 함께 사용할 때 원추각막의 진단적 가치는 훨씬 높아질 수 있다.^{3,16,17}

원추각막에서는 각막실질이 얇아지는데 그 병리기전에 대해서는 아직 명확히 밝혀진 바는 없지만 효소의 결핍 및 각막의 기계적 장력 감소, 교원질 분해능의 증가와 관련 있다는 연구가 보고되고 있고,¹⁴ 정상안과 원추각막의 각막조직에서의 미세구조의 차이에 대한 연구에서도 이미 각막 실질층의 주름과 동반된 얇아짐, 콜라겐 섬유의 취약성으로 인한 보우만층의 파괴, 각막상피층의 바닥부분의 철 성분 침착이 보고되어 있기도 하다.¹⁸ 그러나 이런 각막의 조직학적 병적인 변화들은 실질적으로 각막조직을 적출함으로써 진단적인 가치를 얻을 수 있기에 생체의 각막상태를 유지하면서 진단에 이용하기에는 다소 무리가 뒤따른다.

원추각막에 대한 진단의 도구로 고려해 볼 수 있는 것이 각막의 생체역학적인 방법을 이용하여 안구상태를 진단할

수 있는 ORA 기구인데, Reichert 사가 개발하면서, 안압의 측정과 더불어서 각막의 이력현상(hysteresis)이라 불리는 각막의 생체역학적 특성을 새롭게 측정할 수 있게 되었다.⁶ ORA에서는 일종의 압평탐지계로 각막의 모양을 관찰하여 내향과 외향의 과정을 통한 압력을 측정하여 안구의 이력 현상을 측정할 수 있다(Fig. 5). 이력현상이란 안압을 측정하기 위한 압평과정에서 각막이 함입되는 내향(P1)과 각막이 원래 상태로 돌아가는 외향(P2) 시에 측정한 압력의 차이로, 각막의 점성에 의한 에너지 흡수에 따라 나타나는 P1과 P2의 차이(P1-P2)를 말한다. 이러한 현상은 간단하게 각막의 점탄성으로 설명되는데, 점탄성은 고체의 성질인 탄성복원력과 액체의 성질인 점성의 특징을 동시에 가지고 있다고 말할 수 있다. CRF는 공기압에 의해 각막이 변형되는 동안 발생하는 반작용으로, 각막의 탄력성으로 설명되며, $CRF = P1 - (0.7 \times P2)$ 의 공식으로 측정치 값을 얻을 수 있다.

CH는 각막의 변형에 대한 저항성을 나타내는 지표로서 원추각막의 경우 각막은 정상인에 비해 덜 탄력적이고, 경직되어 있어서 정상인에 비해 CH값이 의미있게 낮아져 있다. 이는 원추각막에서 안구의 저항성이 정상 안에 비하여 낮다는 이전 연구와도 의미가 일치하는 결과로 생각한다.^{19,20} 그리고 CH는 원추각막의 평균 각막굴절력과 중심각막두께와도 유의한 상관관계를 가지는데, 평균 각막굴절력이 증가할수록 즉, 원추각막의 병변이 진행될수록 CH 수치는 감소하고, 각막 중심부의 두께가 얇아질수록 각막의 저항성이 낮아져 CH 수치는 점차 감소한다. 즉 원추각막에서 점탄성이 감소되는 것은 각막기질의 프로테오글리칸과 당아미노글리칸의 구조에 변성이 진행되면서 생기는 각막의 병적인 조직변화와 연관성이 있고 나아가 각막두께의 감소와도 의미 있는 연관성이 있는 것으로 해석된다.²¹

Shah et al²²은 원추각막의 중증도에 따라서도 CH와 중심각막두께에서 유의한 차이를 보고하였는데, 원추각막의 정도가 심할수록 각막의 중심각막 두께가 얇아지고 안구의 보상작용에 따르는 저항성이 낮게 측정된다고 한다. 본 연구에서는 원추각막의 증례수가 적어서 중증도 분류에 따른 비교는 시행하지 못하였지만, 향후 원추각막의 심한 정도에 따른 차이를 비교하는 것도 임상적으로 원추각막의 진행 여부를 진단할 수 있는 인자를 확인할 수 있는 중요한 연구가 되리라 생각한다.

본 연구에서 원추각막과 정상 안에서 CRF값으로 비교했을 때는 유의한 차이가 있었고, 원추각막에서는 CRF가 유의하게 낮게 측정되어 각막의 탄력성이 떨어져 있음을 알 수 있었다. 그리고 평균 각막굴절력과는 음의 값을 보였는데 이는 원추각막의 상태가 진행되어 각막의 굴절력이 증

가할수록 각막의 탄력성은 떨어지고, 각막의 중심두께가 클수록 탄력성은 정상안처럼 존재하기에 양의 값으로 연관성이 나타났다.

비정상적인 각막조직의 변화를 점탄성의 성질을 표현하는 CH 보다는 탄력성을 나타내는 CRF에서 더욱 민감하게 반영한다.²³ 본 연구에서도 원추각막의증과 정상 대조군에서의 CH값의 차이가 유의성이 없었던 것과는 대조적으로 CRF값은 두 군간에 유의한 차이를 보였다. 즉 원추각막으로 인해 생기는 각막조직의 초기 병적인 변화가 점탄성보다는 탄력성에서 더 유의하게 반영됨을 시사한다. CRF는 정상인으로부터 증상이 없는 원추각막의증 환자를 감별하는 데에 있어서 유용한 진단적 의미를 지니는 것으로 생각한다.

또한 ROC curve를 이용하여 구한 곡선 아래 면적으로 고려해보았을 때, CH는 원추각막과 정상 대조군 사이에서만 면적이 0.7 이상이었던 것과 대조적으로 CRF는 원추각막과 원추각막의증, 정상 대조군 간의 비교에서 모두 그 면적이 0.7 이상으로써 원추각막 및 원추각막 의증 환자의 진단적 도구로써 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

그러나 ORA가 완벽한 검사기구는 아니며 앞으로 개선해야 할 문제점도 많은데, 이런 부분의 개선은 시급한 실정이다. 이런 진단 방법의 단점으로는 우선, 압평안압을 측정하기 위해 정반사의 원리를 사용하므로 각막표면의 반응과 각막조직 자체의 반응이 항상 일치하지는 않는다. 즉 각막상피세포의 결손이나 각막흉터가 있는 경우에는 각막표면에서 과도한 산란이 일어나게 되어 ORA의 적외선 정반사에 의한 측정치에 오차의 가능성이 생길 수 있다. 또한 각막의 중심으로부터 직경 4.0 mm 미만을 분석하므로 대개 각막중심으로부터 하이측에 변화를 보이는 각막확장성 질환에 동반되는 생체역학변화를 계측하는 데에는 다소 오차가 생길 수 있는 문제점도 있다.²⁰ 나아가 본 연구가 지니는 문제점도 언급하면 각 군에서의 대상 수가 한정되어 있고, 후향적으로 이루어진 연구로 단면연구로서 심한 정도나 원추각막의 경과에 따른 시간적인 변화에 대한 조사가 이루어지지 않았다. 결론적으로 많은 원추각막 대상자의 추가적인 연구 및 경과에 따른 연구방법이 추가되면서 기술적인 단점이 보완된 ORA가 개발된다면 원추각막 나아가 퇴행성 각막질환에 대한 생체역학적인 진단방법이나 기구의 개발도 기대해 볼 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- 1) Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol* 1998;42:297-319.
- 2) Lapid-Gortzak R, Rosen S, Weitzman S, Lifshitz T. Videokeratography

- findings in children with vernal keratoconjunctivitis versus those of healthy children. *Ophthalmology* 2002;109:2018-23.
- 3) Maeda N, Klyce SD, Smolek MK, Thompson HW. Automated keratoconus screening with corneal topography analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994;35:2749-57.
 - 4) Dastjerdi MH, Hashemi H. A quantitative corneal topography index for detection of keratoconus. *J Refract Surg* 1998;14:427-36.
 - 5) Rabinowitz YS, Rasheed K. KISA% index: a quantitative videokeratography algorithm embodying minimal topographic criteria for diagnosing keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 1999;25:1327-35.
 - 6) Dupps WJ Jr. Hysteresis: new mechanospeak for the ophthalmologist. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1499-501.
 - 7) Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:156-62.
 - 8) Galletti JG, Pfoertner T, Bonthoux FF. Improved keratoconus detection by ocular response analyzer testing after consideration of corneal thickness as a confounding factor. *J Refract Surg* 2012;28: 202-8.
 - 9) Kim SW, Seo SG, Her J, Park SJ. Factors affecting the ocular response analyzer parameters in normal Korean. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:1605-10.
 - 10) Wagner H, Barr JT, Zadnik K. Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study: methods and findings to date. *Cont Lens Anterior Eye* 2007;30:223-32.
 - 11) Piñero DP, Alió JL, Alesón A, et al. Corneal volume, pachymetry, and correlation of anterior and posterior corneal shape in sub-clinical and different stages of clinical keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:814-25.
 - 12) 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;34:789-95.
 - 13) Krumeich JH, Daniel J, Knülle A. Live-epikeratophakia for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:456-63.
 - 14) Krachmer JH, Feder RS, Belin MW. Keratoconus and related non-inflammatory corneal thinning disorders. *Surv Ophthalmol* 1984; 28:293-322.
 - 15) Edrington TB, Barr JT, Zadnik K, et al. Standardized rigid contact lens fitting protocol for keratoconus. *Optom Vis Sci* 1996;73:369-75.
 - 16) Mandell RB, Polse KA. Keratoconus: spatial variation of corneal thickness as a diagnostic test. *Arch Ophthalmol* 1969;82:182-8.
 - 17) Rabinowitz YS, Rasheed K, Yang H, Elashoff J. Accuracy of ultrasonic pachymetry and videokeratography in detecting keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:196-201.
 - 18) Ambekar R, Toussaint KC Jr, Wagoner Johnson A. The effect of keratoconus on the structural, mechanical, and optical properties of the cornea. *J Mech Behav Biomed Mater* 2011;4:223-36.
 - 19) Edmund C. Corneal elasticity and ocular rigidity in normal and keratoconic eyes. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1988;66:134-40.
 - 20) Andreassen TT, Simonsen AH, Oxlund H. Biomechanical properties of keratoconus and normal corneas. *Exp Eye Res* 1980;31: 435-41.
 - 21) Akhtar S, Bron AJ, Salvi SM, et al. Ultrastructural analysis of collagen fibrils and proteoglycans in keratoconus. *Acta Ophthalmol* 2008;86:764-72.
 - 22) Shah S, Laiquzzaman M, Bhojwani R, et al. Assessment of the biomechanical properties of the cornea with the ocular response analyzer in normal and keratoconic eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48:3026-31.
 - 23) Touboul D, Bénard A, Mahmoud AM, et al. Early biomechanical keratoconus pattern measured with an ocular response analyzer: curve analysis. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:2144-50.

=ABSTRACT=

Biomechanical Property of Keratoconus Measured by ORA

Hye Shin Jeon, MD, Jong Soo Lee, MD, PhD

Department of Ophthalmology, Pusan National University School of Medicine, Busan, Korea

Purpose: To compare the biomechanical properties of keratoconus, keratoconus suspect, and normal subjects measured by ocular response analyzer.

Methods: A total of 72 patients were divided into 3 groups: keratoconus, suspected keratoconus, and normal control subjects. The 3 age-matched groups were evaluated according to age, sex, and visual acuity. Slit lamp examinations, Pentacam, and ocular response analyzer (ORA) examinations were performed. Mean corneal refractive power, central corneal thickness, corneal hysteresis (CH), and corneal resistance factor (CRF) were evaluated and analyzed.

Results: Twenty-four eyes were included in each group. The mean age was 23.8 years in keratoconus, 26.0 years in suspected keratoconus and 26.1 years in normal subject groups. Mean corneal refractive power was significantly higher in keratoconus ($p < 0.001$) and suspected keratoconus ($p = 0.001$) groups than in the normal subject group. Mean central corneal thickness showed significant differences among the 3 groups ($p < 0.05$). CH was significantly lower in keratoconus than suspected keratoconus ($p = 0.025$) and normal subject groups ($p = 0.005$), but showed no significant difference between suspected keratoconus and normal subject groups. CRF showed significant differences among all 3 groups ($p < 0.05$). CH and CRF had negative correlations with mean corneal refractive power and positive correlations with central corneal thickness.

Conclusions: CH and CRF measured by ORA were significantly different between keratoconus and normal subject groups and had significant correlations with mean corneal refractive power and central corneal thickness. CRF may be a useful method to differentiate between suspected keratoconus and normal cornea patients.

J Korean Ophthalmol Soc 2013;54(6):869-876

Key Words: Corneal hysteresis, Corneal resistance factor, Keratoconus, Keratoconus suspect, Ocular response analyzer

Address reprint requests to **Jong Soo Lee, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Pusan National University Hospital
#179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 602-739, Korea
Tel: 82-51-240-7323, Fax: 82-51-242-7341, E-mail: jongsool@pusan.ac.kr