정상 한국인 각막의 굴절진폭에 영향을 미치는 인자 분석

Analysis of Factors Affecting Corneal Deflection Amplitude in Normal Korean Eyes

전희정 · 문정일 · 정윤혜

Heejeong Chun, MD, Jung Il Moon, MD, PhD, Younhea Jung, MD, PhD

가톨릭대학교 의과대학 여의도성모병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Purpose: To analyze the corneal deflection amplitude (DA), as measured by the Corvis ST tonometer (Oculus), and other ocular parameters that could affect the DA in normal Korean eyes.

Methods: A retrospective study was performed on 126 eyes of 126 normal Korean subjects. Intraocular pressure (IOP) was measured with Goldmann tonometry (IOP-G), and the Corvis ST was used to measure the corneal DA, central corneal thickness (CCT) and IOP; the biomechanically corrected IOP-B was measured with non-contact tonometry (IOP-N). Axial length (AxL), anterior chamber depth (ACD), and the mean keratometric value were obtained with the IOL Master instrument (Zeiss). The relationships between DA and other measurements were then evaluated.

Results: The DA was positively correlated with AxL ($p = 0.002$) and ACD ($p = 0.010$), and negatively correlated with IOP-G ($p < 0.001$), IOP-N ($p < 0.001$), IOP-B ($p < 0.001$), and CCT ($p = 0.006$). However, when AxL, ACD, CCT, and each type of IOP were analyzed together, AxL ($p = 0.016$) and IOP-G ($p < 0.001$) were the parameters most significantly associated with the DA.

Conclusions: A longer AxL and greater ACD were associated with a higher DA, while a higher IOP and thicker CCT were associated with a lower DA. DA, one of the biochemical parameters of the cornea, was affected by multiple ocular factors, i.e., AxL and IOP. These factors should therefore be considered when interpreting DA measurements obtained using the Corvis ST.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(5):538-544

Keywords: Axial length, Corneal deflection amplitude, Corvis ST, Intraocular pressure

녹내장은 비가역적 실명의 가장 흔한 원인질환으로, 2014년도에는 녹내장 환자가 전 세계적으로 육천사백만 명에 이르렀으며, 2020년에는 칠천육백만, 2040년에는 일억 명을 넘어설 것으로 추정된다.¹ 이에 따라 녹내장의 진단

및 진행, 예후 등은 안과적 평가에 중요한 부분을 차지한다.

안과적 질환, 특히 녹내장의 평가에 있어 안압이 의미하는 바는 매우 크다. 지금까지 안압상승은 녹내장의 주요 위험인자 및 진단 기준 중 하나로 평가되어 왔으며 안압하강은 녹내장의 주된 치료 기준으로 사용되고 있다. 또한 안압은 녹내장의 중요한 예후인자이며 이에 따라 정확한 안압 측정이 녹내장 환자의 평가에 있어 중요한 요소라 할 수 있겠다. 안압 측정의 표준이 되는 골드만압평안압계는 modified Imbert Fick law에 기초하며 이는 각막이 일정한 생체역학적 특성을 가졌다는 가정하에 계산된다. 하지만 개인에 따라 각막의 생체역학적 특성에는 차이가 있으며 이 차이는 안압 측정에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 현재

■ Received: 2019. 3. 21. ■ Revised: 2019. 5. 27.

■ Accepted: 2020. 4. 19.

■ Address reprint requests to Younhea Jung, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital,
College of Medicine, The Catholic University of Korea, #10
63-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07345, Korea
Tel: 82-2-3779-1245, Fax: 82-2-761-6839
E-mail: younhea@hotmail.com

* Conflicts of Interest: The authors have no conflicts to disclose.

© 2020 The Korean Ophthalmological Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 corneal hysteresis (CH)나 각막의 굴절진폭(deflection amplitude) 등의 측정이 가능해지면서^{2,4} 이를 통해 각막의 생체역학적 특성이 반영된 안압의 측정 또한 가능해졌다.

그중에서도 각막의 굴절진폭은 각막의 변형성 및 강성과의 연관성을 보여 여러 연구에 이용되고 있다. 각막의 굴절진폭은 각막에 가해지는 힘에 의해 각막이 뒤로 밀려 들어가는 양에서 안구 전체의 움직임을 뺀 값을 구하여 순수한 각막의 움직임을 측정한다. 각막의 굴절진폭을 이용하여 정상인과 녹내장 환자의 각막의 변형성 및 강성을 비교한 연구⁵가 있으며, 각막의 굴절진폭으로 정상각막과 원추각막의 특성을 비교하는⁴ 등 녹내장 외의 안과적 연구도 진행되고 있다. 또한, 현재 많이 시행되고 있는 라식(laser-assisted in-situ keratomileusis, LASIK) 및 라섹(laser-assisted sub-epithelial keratectomy, LASEK) 등의 굴절교정수술 혹은 원추각막에서 각막 콜라겐 교차결합술(corneal collagen cross-linking) 시술 후 각막의 강성도 평가에 있어 각막의 굴절진폭 등의 생체역학적 특성이 중요한 역할을 한다. 위와 같이 각막의 굴절진폭은 안과적 연구에 많은 유용함을 제공하며, 따라서 이에 영향을 미치는 인자에 대해 알아보는 것이 중요하겠다.

또한, 안구의 생체역학적 요소의 중요성이 대두되면서 녹내장 환자의 CH가 정상인의 그것보다 낮으며,⁶ 각막의 생체역학적 요소들이 안압에 영향을 주거나,⁷ 반대로 안압에 영향을 받을 수도 있다⁸는 연구 결과가 나오는 등 각막의 생체역학적 특성이 녹내장 및 안압과 가지는 연관성에도 관심을 기울이게 되었다. 따라서 안압 측정에 차이를 야기하고 녹내장의 발생과 진행에 영향을 줄 수 있는 각막의 생체역학적 특성 및 이를 뒷받침할 요소들에 대해 알아보는 것 또한 중요하다. 이에 본 연구에서는 정상인에서 Corvis ST Tonometer (Oculus, Wetzlar, Germany)를 이용하여 측정한 각막의 생체역학적 특성, 그중에서도 각막의 굴절진폭을 알아보고, 이에 영향을 미치는 인자들에 대하여 알아보고자 한다.

대상과 방법

본 연구는 2018년 6월부터 2018년 7월까지 여의도성모병원 안과에서 진료를 받은 환자 중 정상 한국인 126명의 특별한 안과적 질환이 없는 정상 126안의 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 양안이 정상인 경우 연구 대상안은 단안이 무작위로 선정되었으며, 안구 건조나 경한 백내장 이외의 다른 안과적 질환이 동반되었거나 안과적 수술의 과거력이 있는 안은 대상에서 제외하였다. 안질환의 유무는 환자의 진료 시 최대교정시력, 세극등현미경검사, 안저검사

와 그 외 문진을 통한 안약 사용 및 수술력 유무를 바탕으로 판단되었다. 인공누액 외의 점안 안약을 투여하는 환자 역시 대상에서 제외되었으며, 안저검사에서 시신경유두의 이상 소견 유무를 확인하여 녹내장 환자를 제외하였다. 본 연구는 헬싱키선언에 입각한 가톨릭대학교 연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받아(승인 번호: SC18RESI0109) 진행되었다.

Corvis ST는 각막에 공기 바람을 쏘아 각막이 뒤로 밀려 들어가고 다시 제 위치로 나오는 과정을 고속의 샤임플러그(Scheimpflug) 카메라를 이용하여 초당 4,300개 이상의 사진으로 촬영하여 안압을 포함한 안구의 여러 가지 생체역학적 요소들을 측정할 수 있다(Fig. 1). 따라서 본 연구에서는 Corvis ST를 이용하여 각막의 굴절진폭을 측정하고, 그 외 중심각막두께(central corneal thickness), 비접촉 공기 안압(intraocular pressure measured with non-contact tonometry, IOP-N), 그리고 각막두께나 나이 등을 고려하여 생체역학적으로 보정된 안압(biomechanically corrected intraocular pressure, IOP-B)을 측정하였다.

대상안의 안축장(axial length), 전방깊이(anterior chamber depth), 각막곡률(keratometric value) 등의 요소들은 IOL master (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)를 이용하여 측정하였으며, 골드만압평안압계를 이용하여 안압(intraocular pressure measured with Goldmann tonometry, IOP-G)을 측정, Auto refractometer (Canon RK-F1, Canon, Tokyo, Japan)를 이용하여 구면대응치(SE)를 측정하였다.

각 환자에서의 안압 변동을 최소화하기 위하여 Corvis ST를 이용한 비접촉 공기 안압(IOP-N)과 생체역학적 보정 안압(IOP-B), 골드만압평안압계를 이용한 안압(IOP-G) 측정은 동일한 날짜에 이루어졌다. 비접촉 공기 안압(IOP-N), 생체역학적 보정 안압(IOP-B), 골드만압평안압(IOP-G)의 순서로 측정하였으며 각 검사당 5분 이상의 시차가 있었고 모든 안압 검사는 30분 이내에 시행되었다.

통계분석은 SPSS 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 각막 굴절진폭과 각각의 생체역학적 요

Figure 1. Deflection amplitude measurement by Corvis ST. The amount of whole eye movement is subtracted from deformation amplitude to calculate deflection amplitude.

소들의 관계를 단순선형회귀분석(simple regression analysis)과 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 이용하여 분석하였다. 다중회귀분석으로 여러 인자들이 함께 각 막 굴절진폭에 미치는 영향을 알아보았고, 다중공선성의 제거를 위해 세 가지 안압을 각각 따로 포함시켜 다중회귀 분석 model들을 제시하였다. *p*값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

본 논문은 46명의 남성과 80명의 여성을 대상으로 하였으며 전체 평균 나이는 58.5 ± 13.5 세(16-87세)였다. 대상안 126안 중 84안은 우안 42안은 좌안이었다(Table 1).

IOL master를 이용하여 측정한 대상안 126안의 평균 안축장은 24.48 ± 1.78 mm, 평균 구면대응치는 -0.81 ± 1.97 D, 평균 각막곡률은 43.87 ± 1.67 D, 평균 전방깊이는 3.38 ± 0.51 mm였으며, 평균 골드만압평안압(IOP-G)은 14.19 ± 2.73 mmHg였다. Corvis ST를 이용하여 측정한 요소들 중 평균 비접촉 공기 안압(IOP-N)은 14.57 ± 3.08 mmHg, 평

Table 1. Baseline characteristics of study patients and ocular parameters

Characteristic	Value (n = 126)
Age (years)	58.5 ± 13.5 (16 to 87)
Sex (female/male)	80/46
Eye (right/left)	84/42
AxL (mm)	24.48 ± 1.78 (21.62 to 30.28)
SE (D)	-0.81 ± 1.97 (-6.00 to 2.63)
Km (D)	43.87 ± 1.67 (36.79 to 47.67)
ACD (mm)	3.38 ± 0.51 (2.24 to 5.16)
IOP-G (mmHg)	14.19 ± 2.73 (9 to 22)
IOP-N (mmHg)	14.57 ± 3.08 (6.5 to 27)
IOP-B (mmHg)	13.29 ± 2.57 (7.9 to 23.7)
CCT (μ m)	553.20 ± 33.40 (457 to 640)
DA (mm)	0.95 ± 0.12 (0.726 to 1.376)

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation (range) unless otherwise indicated.

AxL = axial length; SE = spherical equivalent; D = diopters; Km = mean keratometric value; ACD = anterior chamber depth; IOP-G = intraocular pressure measured with Goldmann tonometry; IOP-N = intraocular pressure measured with non-contact tonometry; IOP-B = biomechanically corrected intraocular pressure; CCT = central corneal thickness; DA = deflection amplitude.

Table 2. Univariate and multivariate linear regression analyses of factors affecting deflection amplitude

Factor	DA							
	Univariate		Multivariate model 1 (including IOP-G)		Multivariate model 2 (including IOP-N)		Multivariate model 3 (including IOP-B)	
	Beta standardized (unstandardized)	<i>p</i> -value*	Beta standardized (unstandardized)	<i>p</i> -value†	Beta standardized (unstandardized)	<i>p</i> -value†	Beta standardized (unstandardized)	<i>p</i> -value†
Age	0.057 (0.001)	0.526						
AxL (mm)	0.276 (0.018)	0.002	0.198 (0.013)	0.016	0.202 (0.014)	0.013	0.251 (0.017)	0.002
SE (D)	0.003 (0.000)	0.976						
Km (D)	-0.001 (< -0.001)	0.990						
ACD (mm)	0.229 (0.054)	0.010	0.083 (0.019)	0.307	0.157 (0.037)	0.051	0.157 (0.037)	0.044
IOP-G (mmHg)	-0.570 (-0.025)	< 0.001	-0.509 (-0.022)	< 0.001				
IOP-N (mmHg)	-0.551 (-0.021)	< 0.001			-0.525 (-0.020)	< 0.001		
IOP-B (mmHg)	-0.521 (-0.024)	< 0.001					-0.527 (-0.024)	< 0.001
CCT (μ m)	-0.245 (-0.001)	0.006	-0.096 (0.000)	0.212	-0.076 (0.000)	0.321	-0.246 (-0.001)	< 0.001
Adjusted R ²			0.367		0.380		0.422	

DA = deflection amplitude; IOP-G = intraocular pressure measured with Goldmann tonometry; IOP-N = intraocular pressure measured with non-contact tonometry; IOP-B = biomechanically corrected intraocular pressure; AxL = axial length; SE = spherical equivalent; D = diopters; Km = mean keratometric value; ACD = anterior chamber depth; CCT = central corneal thickness.

*Univariate linear regression analysis; †multivariate linear regression analysis.

Figure 2. Correlation between deflection amplitude (DA) and axial length (AxL). DA showed a positive correlation with AxL ($p = 0.002$).

균 생체역학적 보정 안압(IOP-B)은 13.29 ± 2.57 mmHg, 평균 중심각막두께는 553.20 ± 33.40 μ m, 평균 각막 굴절진폭은 0.95 ± 0.12 mm로 측정되었다(Table 1).

각 생체역학적 요소들의 비교에 있어 각막 굴절진폭은 안축장($p=0.002$) 및 전방깊이($p=0.010$)와 통계학적으로 유의한 양의 상관관계를 가지며 골드만압평안압(IOP-G) ($p<0.001$), 비접촉 공기 안압(IOP-N) ($p<0.001$), 생체역학적 보정 안압(IOP-B) ($p<0.001$) 및 중심각막두께($p=0.006$)와 통계학적으로 유의한 음의 상관관계를 가졌다(Table 2).

이를 토대로 시행한 단순선형회귀분석 결과 안축장 1 mm 증가 시 각막 굴절진폭은 0.018 mm 증가하였고($p=0.002$) (Table 2, Fig. 2), 전방 깊이 1 mm 증가 시 각막 굴절진폭은 0.054 mm 증가하였다(Table 2). 골드만압평안압(IOP-G), 비접촉 공기 안압(IOP-N), 생체역학적으로 보정된 안압

Figure 3. Correlation between deflection amplitude (DA) and other ocular parameters. DA showed a negative correlation with intraocular pressure measured with Goldmann tonometry (IOP-G) ($p < 0.001$), intraocular pressure measured with non-contact tonometry (IOP-N) ($p < 0.001$), biomechanically corrected intraocular pressure (IOP-B) ($p < 0.001$) and central corneal thickness (CCT) ($p = 0.006$). (A) DA vs. IOP-G, (B) DA vs. IOP-N, (C) DA vs. IOP-B, (D) DA vs. CCT.

(IOP-B)이 1 mmHg 증가 시 각막 굴절진폭은 각각 0.025 mm, 0.021 mm, 0.024 mm 감소하였으며($p<0.001$), 중심각막두께 1 mm 증가 시 각막 굴절진폭은 0.001 mm 감소함이 유의하게 관찰되었다($p=0.006$) (Table 2, Fig. 3).

이어서 안축장, 전방깊이, 중심각막두께, 안압이 함께 각막 굴절진폭에 미치는 영향을 보고자 위 세 종류의 안압을 각각 따로 포함시켜 세 가지 model의 다중회귀분석을 시행하였다. 각 model에 포함된 인자들의 variance inflation factor는 모두 10 미만으로 다중공선성이 없음을 확인하였다. 골드만압평안압(IOP-G)이 포함된 model 1에서는 안축장($p=0.016$)과 골드만압평안압($p<0.001$)만이 유의하게 굴절진폭에 영향을 주었다(Table 2). 비접촉 공기 안압(IOP-N)이 포함된 model 2에서는 안축장($p=0.013$), 전방깊이($p=0.051$), 비접촉 공기 안압(IOP-N) ($p<0.001$)이 유의하게 굴절진폭에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 2). 생체역학적으로 보정된 안압(IOP-B)이 포함된 model 3에서는 안축장($p=0.002$), 전방깊이($p=0.044$), 생체역학적으로 보정된 안압(IOP-B) ($p<0.001$), 각막두께($p<0.001$)가 모두 굴절진폭에 영향을 주는 것으로 분석되었다(Table 2).

고 찰

최근 들어 안압과 각막의 생체역학적 특성에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔으며, 이는 특히 녹내장의 연구에 있어 중요한 부분으로 작용해 왔다. 나이가 들수록 각막의 강성이 증가하며⁹⁻¹² 이는 각막의 편평함 및 안압의 증가와 연관되어 있다는 보고가 있고,⁹ Salvat et al¹²은 녹내장 환자에서 각막의 변형성(corneal deformability)이 정상인보다 감소되어 있다고 하였다. 또한, Jung et al⁵의 연구 결과에서는 녹내장 환자의 각막은 정상인의 각막에 비해 같은 양의 힘이 가해졌을 때 변형되는 정도가 적으며, 이는 녹내장의 영향으로 인해 증가된 각막의 강성과 장기간 안압악 점안으로 인해 증가된 각막의 점탄성의 복합 작용의 결과로, 초기 녹내장 환자에서의 각막변형 정도가 후기 녹내장 환자의 각막변형 정도보다 적다고 보고된다.

이처럼 녹내장과 각막의 생체역학적 특성은 떼어 수 없는 중요한 연관성을 가지며, 각막의 점탄성을 나타내는 CH나 corneal resistance factor (CRF)에 대한 연구 또한 진행되어 왔다. Broman et al¹³과 Kotecha et al¹⁴의 연구 결과에 의하면 CH는 중심각막두께와 양의 상관관계를 보였고, Kotecha et al¹⁴에 따르면 CRF는 중심각막두께와는 양의 상관관계를 가지나 안축장과는 음의 상관관계를 가진다고 하였다. 이와 상반되게 Wells et al¹⁵은 CH는 녹내장의 위험 요소로 연관성을 보이지만 중심각막두께나 안축장 등과의 연관성

은 떨어진다고 보고하였다. 최근 진행된 Asaoka et al¹⁶의 연구 결과에 따르면 중심각막두께는 Corvis ST로 측정된 각막의 생체역학적 요소들과 통계학적으로 유의한 관련성은 없었다. 이와 관련하여 본 연구에서는 중심각막두께가 단일 요소로는 각막의 생체역학적 요소 중 하나인 각막 굴절진폭에 유의하게 영향을 미치나, 안구의 다른 요인들과 함께 평가하였을 때는 중심각막두께와 각막 굴절진폭 사이의 관련성은 유의하지 않았다.

본 연구에서 평가한 각막 굴절진폭은 힘이 가해졌을 때 안구 전체의 움직임을 보정하여 순수한 각막의 움직임만을 측정한다. 각막 굴절진폭과 각각의 안구 요인들을 단일인자로 그 연관성을 비교하여 보았을 때, 각막 굴절진폭은 안축장이나 전방깊이가 길수록 더 크게, 안압이 높거나 각막두께가 두꺼울수록 더 작게 측정되는 경향을 보인다.

하지만 눈의 생체역학적 요소인 각막 굴절진폭은 안구의 다양한 요인들의 영향을 동시에 받을 것이다. 본 연구에서 확인된 model들의 설명력은 model 3 (adjusted $R^2=0.422$), model 2 (adjusted $R^2=0.380$), model 1 (adjusted $R^2=0.367$) 순으로 높았다. 생체역학적으로 보정된 안압(IOP-B)과 비접촉 안압(IOP-N)은 각막 굴절진폭을 측정한 동일한 기계(Corvis ST)로 측정되었고, 특히 생체역학적으로 보정된 안압(IOP-B)의 경우는 각막의 생체역학적 요소들을 고려하여 보정된 안압이기에 이는 예측 가능한 결과라 할 수 있겠다. 일반적으로 안압 측정의 표준이 되는 골드만압평안압(IOP-G)이 포함된 model 1에서는 안축장과 골드만압평안압(IOP-G)이 유의하게 각막 굴절진폭에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

각막 굴절진폭에 영향을 주는 가장 중요한 인자는 안압으로 기존의 여러 연구에서도 이와 비슷한 결과가 보고된 바 있다. Asaoka et al¹⁶은 안압이 각막의 변형진폭(deformation amplitude)을 포함하여 Corvis ST로 측정된 각막의 생체역학적 요소들과 통계학적으로 유의한 관련성이 있다고 하였으며, Lee et al⁸은 안압과 각막의 변형진폭이 음의 상관관계를 이룬다고 보고하였다.

또한 안축장과 관련하여 본 연구에서는 다중회귀분석을 통해 다른 변수들을 보정한 후에도 안축장이 길수록 굴절진폭이 큰 것을 알 수 있었다. 이는 안축장이 길수록 각막의 변형성은 증가하고 안구 전체의 움직임은 줄어들며, 안압이 높을수록 각막의 저항성(corneal resistance)은 증가하고 안구 전체의 움직임은 줄어든다는 Miki et al¹⁷의 연구결과와 일치한다.

근시 및 고도근시안에서 공막의 콜라겐 섬유 조직 및 그로 인한 공막의 콜라겐 두께가 정상안에 비해 얇아 생체역학적 특성이 다를 수 있음이 알려진 바 있다.¹⁸ 현재까지의

안압계는 모두 각막을 이용한 측정 방법으로, 각막 또한 콜라겐으로 이루어져 있는 조직이기에 위에서 보고된 바와 비슷한 성상을 보일 수 있다고 생각해 볼 수 있으며, 이는 안축장이 긴 근시안에서 각막 굴절진폭의 증가를 설명 가능하게 하는 소견이 될 수 있겠다. 또한 이는 안축장이 긴 근시안에서 각막변형 정도가 증가하여, 이들에게서 안압이 낮게 측정될 수 있음을 시사한다는 점에서 그 의의가 있다 하겠다.

본 연구의 제한점으로는 연구 대상자 수가 적으며 한국 인만을 대상으로 진행된 연구라는 점이 있다. 또한 연구 대상안이 안구 건조 및 경한 백내장 이외의 다른 안과적 질환이 없거나 안과적 수술의 과거력이 없는 정상안에 국한되었다는 점에서 녹내장 또는 다른 안과적 질환이 있는 눈에서는 또 다른 결과를 도출할 가능성이 있다는 점을 생각해 볼 수 있다. 본 연구가 포함한 정상안에는 안구 건조로 인공누액을 점안하는 환자들이 포함되었는데, 건성안에서 인공누액 점안이 중심각막두께를 증가시킨다는 연구 결과¹⁹로 미루어볼 때 인공누액이 각막의 생체역학적 특성에도 영향을 줄 가능성을 고려해야 하겠다. 후향적 연구의 한계로 당뇨 등 각막의 생체역학인자에 영향을 미칠 수 있는 전신 질환의 유무를 모두 확인할 수 없었다는 점 또한 본 논문의 제한점이다. 추가적으로 아직까지 알려지지 않은 각막의 생체역학인자에 영향을 줄 수 있는 인자들을 모두 조사하지는 못했다는 점에서 추후 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

현재 측정되는 각막의 굴절진폭은 각막의 변형성 및 강성, 안과적 질환이나 각막수술 및 시술에 따라 변화된 각막의 성질 등 각막의 생체역학적 특성에 대한 안과적 연구에 있어 유용한 정보를 제공한다. 하지만 이를 바탕으로 연구 결과를 도출함에 있어서는 각막의 굴절진폭의 측정에 영향을 미치는 안구의 요소들을 고려해야 한다. 본 연구에서 각막의 굴절진폭은 안축장 및 안압에 가장 유의한 영향을 받는 것을 알 수 있었으며, 따라서 추후 Corvis ST로 측정한 각막의 굴절진폭을 해석할 때는 이러한 인자에 유의해야 할 것이다.

REFERENCES

- 1) Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014;121:2081-90.
- 2) Touboul D, Roberts C, Kérautret J, et al. Correlations between corneal hysteresis, intraocular pressure, and corneal central pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:616-22.
- 3) Terai N, Raiskup F, Haustein M, et al. Identification of biomechanical properties of the cornea: the ocular response analyzer. *Curr Eye Res* 2012;37:553-62.
- 4) Francis M, Pahuja N, Shroff R, et al. Waveform analysis of deformation amplitude and deflection amplitude in normal, suspect, and keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:1271-80.
- 5) Jung Y, Park HL, Yang HJ, Park CK. Characteristics of corneal biomechanical responses detected by a non-contact scheimpflug-based tonometer in eyes with glaucoma. *Acta Ophthalmol* 2017;95:e556-63.
- 6) Liang L, Zhang R, He LY. Corneal hysteresis and glaucoma. *Int Ophthalmol* 2019;39:1909-16.
- 7) Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:146-55.
- 8) Lee H, Kang DSY, Ha BJ, et al. Biomechanical properties of the cornea using a dynamic scheimpflug analyzer in healthy eyes. *Yonsei Med J* 2018;59:1115-22.
- 9) Zhang Y, Wang Y, Li L, et al. Corneal stiffness and its relationship with other corneal biomechanical and nonbiomechanical parameters in myopic eyes of chinese patients. *Cornea* 2018;37:881-5.
- 10) Knox Cartwright NE, Tyrer JR, Marshall J. Age-related differences in the elasticity of the human cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52:4324-9.
- 11) Elsheikh A, Wang D, Brown M, et al. Assessment of corneal biomechanical properties and their variation with age. *Curr Eye Res* 2007;32:11-9.
- 12) Salvat ML, Zeppieri M, Tosoni C, et al. Corneal deformation parameters provided by the corvis-ST pachy-tonometer in healthy subjects and glaucoma patients. *J Glaucoma* 2015;24:568-74.
- 13) Broman AT, Congdon NG, Bandeen-Roche K, Quigley HA. Influence of corneal structure, corneal responsiveness, and other ocular parameters on tonometric measurement of intraocular pressure. *J Glaucoma* 2007;16:581-8.
- 14) Kotecha A, Russell RA, Sinapis A, et al. Biomechanical parameters of the cornea measured with the Ocular Response Analyzer in normal eyes. *BMC Ophthalmol* 2014;14:11.
- 15) Wells AP, Garway-Heath DF, Poostchi A, et al. Corneal hysteresis but not corneal thickness correlates with optic nerve surface compliance in glaucoma patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:3262-8.
- 16) Asaoka R, Nakakura S, Tabuchi H, et al. The relationship between corvis ST tonometry measured corneal parameters and intraocular pressure, corneal thickness and corneal curvature. *PLoS One* 2015;10:e0140385.
- 17) Miki A, Maeda N, Ikuno Y, et al. Factors associated with corneal deformation responses measured with a dynamic scheimpflug analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017;58:538-44.
- 18) McBrien NA, Cornell LM, Gentle A. Structural and ultrastructural changes to the sclera in a mammalian model of high myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42:2179-87.
- 19) Karadayi K, Ciftci F, Akin T, Bilge AH. Increase in central corneal thickness in dry and normal eyes with application of artificial tears: a new diagnostic and follow-up criterion for dry eye. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005;25:485-91.

= 국문초록 =

정상 한국인 각막의 굴절진폭에 영향을 미치는 인자 분석

목적: 정상인에서 Corvis ST Tonometer를 이용하여 각막의 굴절진폭(deflection amplitude)과 이에 영향을 미치는 안구 인자를 알아 보았다.

대상과 방법: 안질환이 없는 한국인 126명의 정상 126안을 대상으로 골드만압평안압계를 이용하여 안압(intraocular pressure [IOP]-G)을 측정, Corvis ST를 이용하여 각막의 굴절진폭, 중심각막두께, 비접촉 공기 안압(IOP-N), 생체역학적 보정 안압(IOP-B)을 측정하였으며, IOL master를 이용하여 안축장, 전방깊이, 각막곡률을 확인하였다. 이를 토대로 각막 굴절진폭과 각 생체역학적 요소들의 관계를 분석하였다.

결과: 각막 굴절진폭은 안축장($p=0.002$) 및 전방깊이($p=0.010$)와 유의한 양의 상관관계를 가지며 IOP-G ($p<0.001$), IOP-N ($p<0.001$), IOP-B ($p<0.001$) 및 중심각막두께($p=0.006$)와 유의한 음의 상관관계를 가졌다. 안축장, 전방깊이, 중심각막두께와 각각의 안압이 함께 각막 굴절진폭에 미치는 영향을 분석한 결과 안축장($p=0.016$) 및 골드만압평안압($p<0.001$)이 가장 유의하게 굴절진폭에 영향을 주었다.

결론: 단일인자로 비교 시 각막 굴절진폭은 안축장이나 전방깊이가 길수록 크게, 안압이 높거나 각막두께가 두꺼울수록 작게 측정되었다. 하지만 눈의 생체역학적 요소인 각막 굴절진폭은 안구 여러 요인들의 영향을 동시에 받을 것으로 생각되며, 본 연구에서는 안축장과 안압에 유의하게 영향을 받았다. 따라서 Corvis ST로 측정한 각막 굴절진폭을 해석할 때는 이러한 인자에 유의해야 할 것이다. <대한안과학회지 2020;61(5):538-544>

전희정 / Heejeong Chun

가톨릭대학교 의과대학 여의도성모병원 안과학교실
Department of Ophthalmology, Yeouido St.
Mary's Hospital, College of Medicine, The
Catholic University of Korea