

Corvis ST 안압계와 타안압계와의 안압 비교 및 녹내장 환자에서의 임상적 유용성

Comparison of Corvis ST Tonometer to Other Tonometers and Clinical Usefulness of Corvis ST Tonometer

한정우 · 하승주

Jung Woo Han, MD, Seung Joo Ha, MD, PhD

순천향대학교 의과대학 순천향대학교병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Soonchunhyang University Hospital, Soonchunhyang University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To compare the accuracy and agreement of intraocular pressure (IOP) and central corneal thickness (CCT) measurements with noncontact tonometer Corvis Scheimpflug Technology (Corvis ST) *versus* noncontact tonometer (NCT), Goldmann applanation tonometer (GAT), rebound tonometer (RBT), and ultrasound-based corneal pachymetry (US-CCT). The secondary objective was to evaluate the corneal biomechanical values using Corvis ST tonometer in patients with glaucoma.

Methods: Thirty-one healthy participants and 47 patients with primary open angle glaucoma and normal tension glaucoma were enrolled in this study. One eye was selected randomly. In each participant, GAT, NCT, RBT, US-CCT and measurements with Corvis ST (Corvis-IOP and Corvis-CCT) were obtained. IOP and CCT measurements of each device were compared. Device agreement was calculated by Bland-Altman analysis. Additionally, corneal highest concavity parameters were compared between healthy subjects and glaucoma patients.

Results: Mean IOPs in all examined eyes were 13.28 ± 2.32 mm Hg for CST, 14.71 ± 2.95 mm Hg for GAT, 14.44 ± 3.10 mm Hg for NCT, and 13.23 ± 2.89 mm Hg for RBT. There was no statistical difference in IOP measurements among tonometers. Correlation analysis showed a high correlation between each pair of tonometers (all $p < 0.0001$). Bland-Altman plots of all devices revealed good agreement of the IOP and CCT measurements. In glaucoma patients, highest concavity time and peak distance of highest concavity parameters were statistically lower than in normal subjects (16.93 ± 0.66 ms vs. 16.48 ± 0.84 ms $p = 0.020$, 4.23 ± 1.34 mm vs. 3.41 ± 1.27 mm $p = 0.017$, respectively).

Conclusions: The CST, a newly-developed tonometer with features of visualization and measurement of the corneal deformation response to an air impulse, can be considered a reliable alternative method for measuring IOP and CCT in healthy subjects and glaucoma patients. Highest concavity parameters could be another important indicator identifying corneal viscosity or elasticity in patients with glaucoma.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(3):404-412

Key Words: Corneal biomechanics values, Corvis scheimpflug technology tonometer, Glaucoma, Intraocular pressure

■ Received: 2014. 8. 14. ■ Revised: 2014. 10. 29.

■ Accepted: 2015. 3. 1.

■ Address reprint requests to **Seung Joo Ha, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Soonchunhyang University
Hospital, #59 Daesagwan-ro, Yongsan-gu, Seoul 140-743,
Korea
Tel: 82-2-709-9354, Fax: 82-2-795-3687
E-mail: sjha@schmc.ac.kr

안압은 안과에 방문한 환자에게 시행하는 기본 검사 중 하나로서 녹내장의 발생 및 진행의 가장 위험한 인자로 알려졌다.^{1,2} 안압은 1 mmHg만 감소해도 시야 손상의 진행 위험도를 10% 정도 감소시킬 수 있으며 고안압증 환자들의 예후를 10% 호전시킬 수 있다고 알려졌다.³ 따라서 안압을 정확히 측정하는 것은 녹내장 환자를 평가하고 치료

© 2015 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.

계측을 세우는 데 가장 중요하다고 할 수 있다. 이상적인 안압측정계는 가장 정확하고 반복성과 재현성이 뛰어나며 눈에 덜 침습적인 것이다. 현재 비접촉안압계(NCT), 토노펜(Tonopen), 골드만압평안압계(GAT), 리바운드안압계(RBT) 등이 사용되고 있으며 현재까지는 GAT가 가장 정확한 안압 측정기로 알려졌다.^{4,5} 하지만 GAT는 세극등에 앉아서만 측정이 가능하고 협조가 안되는 소아나 고령의 환자에서는 측정이 어려운 경우가 많으며 각막의 곡률과 두께 및 생체역학적 특성에 따라 측정치가 영향을 받는 것으로 알려졌다.^{6,9}

최근에는 비접촉안압계의 일종으로 Ocular Response Analyzer (ORA)가 소개되었다.^{10,11} 이는 공기를 분출하고 난 후 각막이 전방쪽으로 변형되었다가 회복되는 과정에서 각막이 편평해지는 두 시점에서의 압력을 측정한다. 첫 번째 압력과 두 번째 압력의 차이를 각막이력현상(corneal

hysteresis)이라고 부르는데, 가해진 힘에 즉각적이지는 않지만 천천히 뒤따라오는 반응으로 원래의 상태로 완벽히 복원되지 않거나 늦어지는 물리적 성질을 의미한다. 이는 중심각막두께, 각막의 탄력성, 점성 등과 같은 각막의 생체역학적 특성을 나타낸다.¹²

이에 발전된 새로운 안압계로 최근 소개된 Corvis ST 안압계(CST)는 비접촉 샤임플러그(Scheimpflug) 이미지에 기반하였으며 공기 분사에 따른 각막 변형을 보면서 동시에 안압을 측정할 수 있는 새로운 안압계이다. CST는 100 ms 내에 4330 프레임/초의 이미지를 얻을 수 있어서 안압을 재면서 각막의 동적변형(dynamic deformation)을 기록할 수 있다. 안압 측정 범위는 1-60 mmHg이다. 고속의 샤임플러그 카메라(High-speed Scheimpflug camera)가 각막의 움직임을 기록하기 위해 장착되어 있으며 초저속 움직임

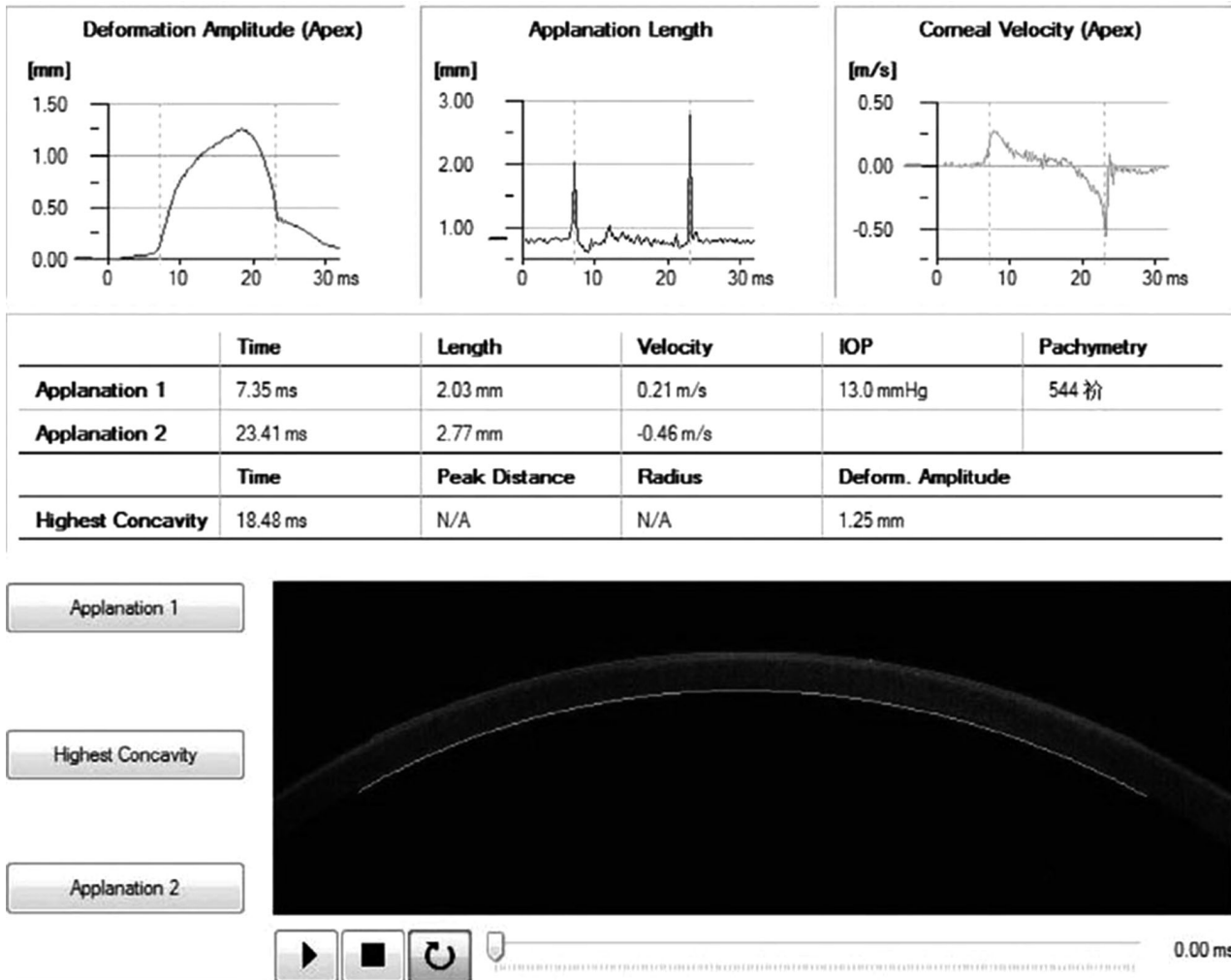


Figure 1. Intraocular pressure measurement by CST. A high speed Scheimpflug camera was equipped to record the movement of cornea. The output also includes central corneal thickness and corneal biomechanical properties (applanation time, applanation length, applanation velocity, and parameters of highest concavity). CST = Corvis scheimpflug technology; IOP = intraocular pressure.

(ultraslow motion)으로 영상이 재생된다. 카메라는 각막반경 8.5 mm까지 측정가능하며 최상의 고해상도 이미지를 제공한다. CST는 안압뿐만 아니라 각막의 두께 및 생체역학적 반응까지 측정될 수 있도록 고안되었다. 각막의 생체역학적 반응을 나타내는 지표는 시간(time) (applanation될 때까지 도달하는 시간), 길이(length) (샤임플러그 이미지상 각막이 가장 평탄해질 때의 길이), 그리고 속도(velocity) (applanation동안 각막의 움직임 속도)가 있으며 공기 분사후 전방으로 변형되었다 회복될 때 각막이 평편해지는 두 시점인 첫 번째 및 두 번째 applanation시에 각각 측정이 된다. 또한 highest concavity 지점에서 나타나는 지표로 시간(time), 변형진폭(deformation amplitude), 각막의 만곡 지점사이 거리(Dist), 곡률의 오목반경(RadCurv)이 측정된다(Fig. 1).

국내에는 CST와 GAT를 비롯한 다른 안압계와 측정을 비교한 연구는 없어, 이에 저자들은 한국인을 대상으로 하여 안압을 비교하고자 하였다. 따라서 저자들은 녹내장 환자군 및 정상대조군을 대상으로 Corvis ST 안압계(CST)로 측정한 안압과 골드만 압평안압계(GAT), 비접촉안압계(NCT), 리바운드안압계(RBT)로 측정한 안압을 측정하고 비교하였으며 각안압계의 일치성 및 상관성에 대해 알아보았다. 그리고 CST로 측정된 중심각막두께와 초음파에 기반하여 측정되는 중심각막두께의 일치성 및 상관성을 비교하였다. 또한 CST를 이용하여 측정된 각막의 생체역학적 수치들을 녹내장군과 정상대조군과 비교하여 녹내장 평가에 있어 CST의 임상적 유용성에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법

2013년 12월 본원을 내원한 환자 중 정상안압녹내장 및 원발개방각녹내장 환자 47명과 정상 대조군 31명을 대상으로 전향적 연구를 시행하였다. 환자들은 단안만을 대상으로 하였으며 양안일 경우에는 한쪽 눈을 무작위로 선택하였다. 정상안압녹내장의 진단은 녹내장 약물치료 시작전 초기 안압이 21 mmHg 이하이고 전방각경검사 검사상 개방각을 보이며 녹내장성 시신경 유두손상과 이에 상응하는 시야결손이 관찰되고 녹내장 이외에 시신경 손상을 일으킬 만한 질환이 없는 경우로 정의하였다. 원발개방각녹내장의 진단은 녹내장 약물치료시작 전 초기 안압이 22 mmHg 이상이며 전방각경 검사상 개방각을 보이며 녹내장성 시신경 유두손상과 이에 상응하는 시야결손이 관찰되고 녹내장 이외에 시신경 손상을 일으킬 만한 질환이 없는 경우로 정의하였다. 녹내장 이외에 최근 안과적 수술치료병력, 원추각막이나 각막혼탁 등 각막에 병변이 있는 경우를 제외하였

다. 녹내장을 진단받은 환자들은 평균 1.7 ± 0.8 개의 녹내장 안약을 점안 중이었으며 녹내장안약 사용의 평균기간은 2.8 ± 1.9 년이었다.

모든 대상자들의 전신질환, 수술 기왕력 등의 병력을 조사하였으며 시력검사와 자동굴절검사를 이용한 구면대응치를 측정하였다. 안압측정은 앉은 자세에서 시행되었으며 NCT, CST, RBT, GAT 순서로 덜침습적인 순으로 검사를 진행하였다. 각각의 안압측정 사이에 시간은 최소 5분 이상의 간격을 두었고, 각 측정기구별로 한명의 숙련된 검사자에 의해 측정하였다. 네 종류의 안압계의 측정 후 초음파 각막두께 측정계를 사용하여 중심각막두께를 측정하였으며 5회 반복하여 중간값을 선택하였다. 안축장의 측정은 IOL master로 이용하였다. 또한 정상대조군과 녹내장군의 highest concavity 시 측정되는 수치(Time, Peak distance, Radius, Deform. Amplitude)들을 측정하여 비교하고자 하였다.

녹내장 환자군과 정상대조군 간의 네 가지 종류의 안압계로 측정된 안압을 ANOVA로 비교하였고, 사후분석은 Bonferroni method를 이용하였다. 각 안압계로 측정한 일치도를 분석하기 위해 Bland-Altman plot을 이용하였으며 각 안압계의 상관관계를 조사하기 위해 Spearman 상관분석을 시행하였다. 또한 CST와 초음파로 측정된 중심각막두께의 상관관계를 알기 위해 Pearson 상관분석을 시행하였고 Bland-Altman plot으로 일치도를 분석하였다. 그리고 녹내장환자와 정상안의 Corvis ST 안압계로 측정된 corneal highest concavity 수치들을 student *t*-test를 이용하여 비교 분석하였다. 통계학적 분석은 SPSS version 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였으며 *p* 값이 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의하다고 정의하였다.

결 과

전 대상자들의 평균나이는 55.9 ± 16.0 세였고 남자는 41명 여자는 37명이었다. 대상안의 안축장의 길이는 24.60 ± 1.58 mm이었고 각막중심두께는 538.1 ± 37.6 μ m였다. 각막곡률의 평균은 7.76 ± 0.63 mm이고 각막 난시의 평균은 1.02 ± 0.64 D였다. 녹내장 환자군과 정상 대조군에서 각 수치들은 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(Table 1). 비접촉안압계로 측정된 안압은 14.44 ± 3.10 mmHg이며 리바운드안압계로 측정된 안압은 13.23 ± 2.89 mmHg, 골드만압평안압계로 측정된 안압은 14.71 ± 2.95 mmHg, Corvis ST 안압계로 측정된 안압은 13.28 ± 2.32 mmHg였다. 각안압계로 측정된 정상대조군과 녹내장환자군사이에 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(Table 2). ANOVA 상 전 대상군을 포

Table 1. Demographic characteristics of study subjects

Demographics	Values
Total (n)	78 patients (37 females and 41 males)
Healthy subjects	31
Glaucoma patients	47 (POAG:20, NTG:27)
Age (years)	
Healthy subjects	51.6 ± 17.1
Glaucoma patients	59.0 ± 5.0
<i>p</i> -value*	0.057
Axial length (mm)	
Healthy subjects	24.36 ± 1.71
Glaucoma patients	24.75 ± 1.49
<i>p</i> -value*	0.312
Central corneal thickness (μm)	
Healthy subjects	544.6 ± 34.9
Glaucoma patients	533.5 ± 39.1
<i>p</i> -value*	0.216
Corneal curvature (mm)	
Healthy subjects	7.68 ± 0.66
Glaucoma patients	7.82 ± 0.61
<i>p</i> -value*	0.387
Corneal astigmatism (diopter)	
Healthy subjects	1.13 ± 0.70
Glaucoma patients	0.96 ± 0.58
<i>p</i> -value*	0.245

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.
POAG = primary open angle glaucoma; NTG = normal tension glaucoma.

*By student's *t*-test.

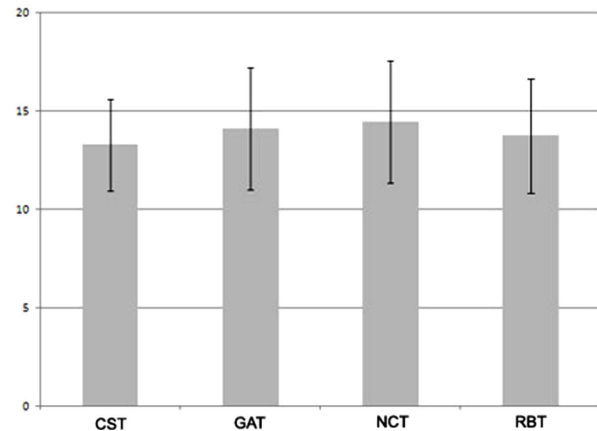


Figure 2. Analysis of variance between mean intraocular pressure values measured by different tonometers. There was no statistically significant difference in IOP measurement among the tonometers by ANOVA (CST vs GAT, *p* = 0.265 CST vs NCT, *p* = 0.057 CST vs RBT, *p* = 0.744). IOP = intraocular pressure; CST = Corvis scheimpflug technology; GAT = Goldmann applanation tonometer; NCT = noncontact tonometer; RBT = rebound tonometer.

함시켜 네 가지 안압계로 측정한 안압비교는 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(CST vs GAT *p*=0.265, CST

Table 2. Mean intraocular pressure values measured by different tonometers in normal subjects and glaucoma patients

Tonometers	Values
Corvis ST tonometer (mm Hg)	
Healthy subjects	13.37 ± 2.53
Glaucoma patients	12.77 ± 2.37
Total	13.28 ± 2.32
<i>p</i> -value*	0.298
Goldmann applanation tonometer (mm Hg)	
Healthy subjects	14.60 ± 2.98
Glaucoma patients	14.86 ± 2.94
Total	14.71 ± 2.95
<i>p</i> -value*	0.700
Noncontact tonometer (mm Hg)	
Healthy subjects	14.48 ± 3.50
Glaucoma patients	14.20 ± 2.88
Total	14.44 ± 3.10
<i>p</i> -value*	0.710
Rebound tonometer (mm Hg)	
Healthy subjects	13.01 ± 3.20
Glaucoma patients	13.56 ± 2.34
Total	13.23 ± 2.89
<i>p</i> -value*	0.420

Values are presented as mean ± SD.

Corvis ST = Corvis scheimpflug technology.

*By student's *t*-test.

vs NCT *p*=0.057, CST vs RBT *p*=0.744) (Fig. 2).

CST와 각 안압계로 측정된 안압 사이의 일치도를 평가하기 위해 시행한 Bland-Altman plot에서는 CST와 NCT의 평균차이값은 -0.12 mmHg로 가장 근사하였고 RBT는 -0.45 mmHg, GAT는 -0.8 mmHg로 차이가 가장 컸다. CST와 NCT 안압 사이의 95% 신뢰구간(평균에서 ±1.96 표준편차 이내)은 -4.9~2.6이었고 CST와 RBT 안압 사이의 95% 신뢰구간은 -4.5~3.6이며 CST와 GAT 안압 사이의 95% 신뢰구간은 -5.3~3.7이었다(Fig. 3).

또한 상관분석에서도 CST와 GAT 안압 사이에서 *R*=0.670 (*p*<0.001), CST와 NCT 안압 사이에서 *R*=0.746 (*p*<0.001), CST와 RBT 안압 사이에서 *R*=0.679 (*p*<0.001)로 NCT와 가장 높은 상관계수를 보였다(Table 3) (Fig. 4).

녹내장환자군에서 CST로 측정된 중심각막두께는 534.87 ± 40.31 μm이며 초음파로 측정된 중심각막두께는 532.40 ± 38.18 μm이었으며 그 상관관계는 Pearson 상관분석에서 *R* = 0.965 (*p*<0.0001)이었다. 정상대조군에서 CST로 측정된 중심각막두께는 547 ± 38.06 μm, 초음파로 측정된 중심각막두께는 542.74 ± 35.93 μm이었으며 Pearson 상관분석에서 *R*= 0.933 (*p*<0.0001)이었다(Table 4). Bland-Altman plot에서도 녹내장 환자군에서 평균차이값은 -1.1 mmHg이며 95% 신뢰구간(평균에서 ±1.96 표준편차 이내)은 -14.4~12.2이며 정상대조군에서 평균차이값은 -0.4 mmHg이며 95% 신뢰구간(평

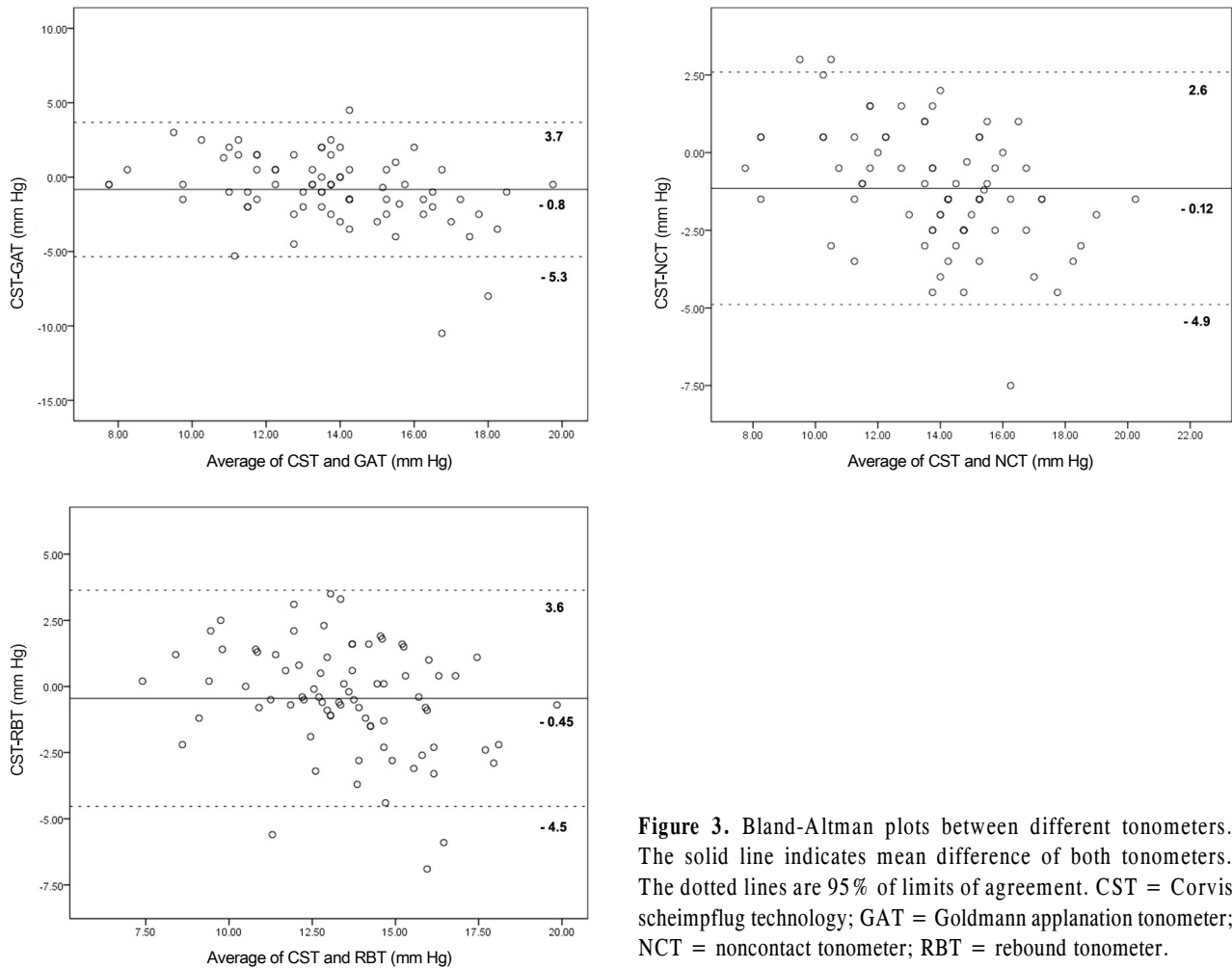


Figure 3. Bland-Altman plots between different tonometers. The solid line indicates mean difference of both tonometers. The dotted lines are 95% of limits of agreement. CST = Corvis scheimpflug technology; GAT = Goldmann applanation tonometer; NCT = noncontact tonometer; RBT = rebound tonometer.

Table 3. Correlation between different tonometers

		CST	GAT	NCT	RBT
Spearman correlation	CST	1	0.670*	0.746*	0.679*
	GAT	0.670	1	0.656	0.645
	NCT	0.746	0.656	1	0.684
	RBT	0.679	0.645	0.684	1

Values present the correlation of intraocular pressure (IOP) gained from all subjects (healthy subjects and glaucoma patients).

CST = Corvis scheimpflug technology; GAT = Goldmann applanation tonometer; NCT = noncontact tonometer; RBT = rebound tonometer.

* p -value < 0.001.

Table 4. Mean CCT obtained with ultrasound pachymetry and Corvis ST tonometry of normal subjects and glaucoma patients

	Mean US-CCT	Mean Corvis-CCT	Correlation (Pearson's coefficient)
Glaucoma patients	532.40 ± 38.18	534.87 ± 40.31	0.965
			$p < 0.0001$
Normal subjects	542.74 ± 35.93	547.29 ± 38.06	0.933
			$p < 0.0001$

Values are presented as mean ± SD.

US = ultrasound; CCT = central corneal thickness; Corvis ST = Corvis scheimpflug technology.

군에서 ± 1.96 표준편차 이내)은 -15.3~14.9이었다(Fig. 5).

정상대조군과 녹내장 환자군에서 CST로 측정되는 highest concavity parameter들 중에서는 highest concavity time

(16.93 ± 0.66 ms vs 16.48 ± 0.84 ms $p=0.020$)과 peak distance (4.23 ± 1.34 mm vs 3.41 ± 1.27 mm, $p=0.017$)가 녹내장 환자군에서 통계학적으로 유의하게 감소하였다. Radius

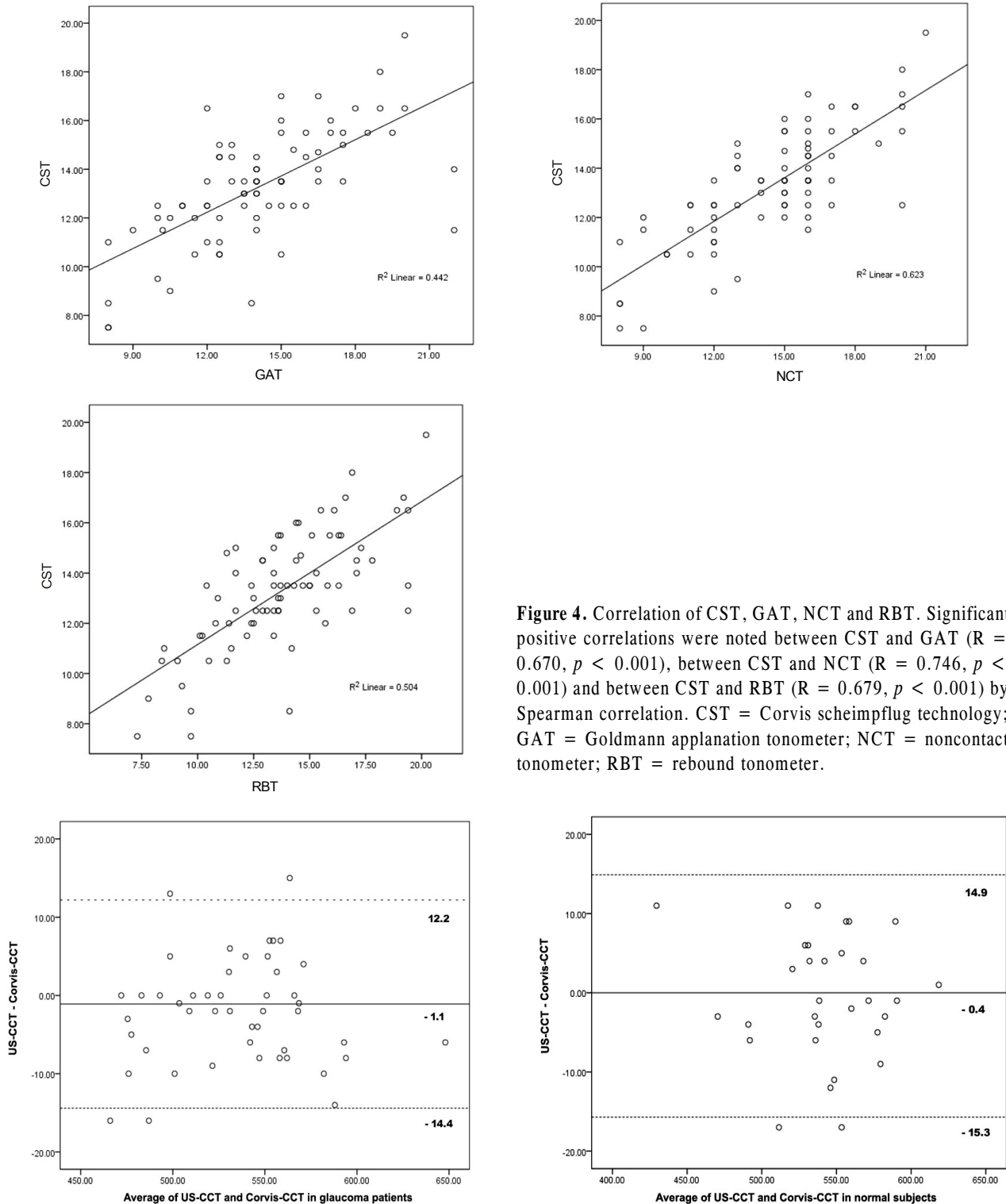


Figure 4. Correlation of CST, GAT, NCT and RBT. Significant positive correlations were noted between CST and GAT ($R = 0.670$, $p < 0.001$), between CST and NCT ($R = 0.746$, $p < 0.001$) and between CST and RBT ($R = 0.679$, $p < 0.001$) by Spearman correlation. CST = Corvis scheimpflug technology; GAT = Goldmann applanation tonometer; NCT = noncontact tonometer; RBT = rebound tonometer.

Figure 5. Bland-Altman plots between US-CCT and Corvis-CCT. The solid line indicates mean difference of both tonometers. The dotted lines are 95% of limits of agreement. US = ultrasound; CCT = central corneal thickness.

(7.19 ± 0.78 mm vs 6.85 ± 0.78 mm $p=0.088$)와 Deformation Amplitude (1.18 ± 0.13 vs 1.11 ± 0.16 , $p=0.051$)는 녹내장 환자군에서 정상대조군보다 감소되는 수치를 보였으나 통

계학적으로 유의하지는 않았다(Table 5).

Table 5. Mean value parameters of highest concavity from Corvis ST for each subgroup of corneal compensated intraocular pressure groups

	Highest concavity			
	Time	Peak distance	Radius	Deformation amplitude
Glaucoma patients	16.48 ± 0.84	3.41 ± 1.27	6.85 ± 0.78	1.11 ± 0.16
Normal subjects	16.93 ± 0.66	4.23 ± 1.34	7.19 ± 0.78	1.18 ± 0.13
<i>p</i> -value*	0.020*	0.017*	0.088	0.051

Values are presented as mean ± SD.

Corvis ST = Corvis scheimpflug technology.

*By student's *t*-test.

고 찰

안압을 정확하게 측정하는 것은 녹내장을 진단하고 치료 방향을 결정하기 위해 매우 중요하다고 할 수 있다. 녹내장 환자에서 안압 상승의 발견이나 치료가 늦어지는 것은 시신경에 심각한 손상 및 시야장애를 야기할 수 있다. 따라서 본 연구는 사임플러그 이미지에 기반한 새로운 비접촉 안압계인 Corvis ST 안압계(CST)를 이용하여 정상안 및 녹내장환자들의 안압을 측정하였고 NCT, RBT, GAT와 비교분석 및 각각의 일치성을 평가하고자 하였다. 부가적으로 CST로 측정된 중심각막두께와 초음파로 측정된 중심각막두께의 상관성과 일치성을 비교하였다. 또한 CST를 이용하여 녹내장 환자와 정상대조군의 각막의 생체역학적 특성을 비교하여 CST로 측정한 각막의 생체역학적 특성이 녹내장의 진단 및 진행의 평가에 도움이 될 수 있는지 연구하고자 하였다.

본 연구에서 전체 대상군을 대상으로 한 비교에서 CST가 가장 낮게 안압이 측정되었으며 그 다음 RBT, GAT, NCT 순이었다. 하지만 네 가지 안압계로 측정한 안압 사이에는 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 또한 각각의 안압계로 측정된 녹내장 환자 및 정상대조군간의 안압은 통계학적으로 유의한 차이 없었다. 이는 연구에 참여한 녹내장 환자군들은 대부분 한 개 이상의 녹내장 점안약을 사용 중이었으며 안압이 정상 수준으로 조절되는 경우가 대부분이었기 때문으로 생각한다. 따라서 안압 측정의 관점에서 두 군은 비교적 동질한 군임을 알 수 있었다.

Bland-Altman plot 결과에서는 NCT, RBT, GAT중에서 NCT가 CST 결과와 비교 시 가장 우수한 일치성을 보였다. 기존 연구에서 GAT가 NCT보다는 CST와 높은 일치성 및 연관성을 보였다는 연구가 있었으나¹³ 본 연구에서는 NCT와 RBT가 GAT보다 일치성이 높게 나왔다. 또한 Spearman 상관분석에서도 CST와 NCT가 가장 높은 상관관계수($R=0.746, p<0.001$)를 보였으며 RBT ($R=0.679, p<0.001$), GAT ($R=0.670, p<0.001$)순이었다.

CST와 초음파로 측정된 중심각막두께에서 녹내장군

($R=0.965, p<0.0001$)과 정상대조군($R=0.933, p<0.0001$) 모두에서 높은 상관계수를 보였다. 각막의 두께를 측정하는 것은 안압의 정확한 평가, 굴절교정수술이나 콘택트렌즈 연구 등 임상적으로 매우 중요하며 현재 초음파를 이용한 각막 두께 측정이 오랜 기간동안 표준으로 사용되어 왔다. 본 연구에서 CST와 초음파로 측정된 중심각막두께에서 높은 상관계수를 보이는 것으로 보아 CST가 중심각막두께 측정에 있어 대체할 수 있는 기기로 이용할 수 있음을 시사하였다.

각막의 생체역학적특성은 점성, 탄력성, 그리고 점탄성, 결체조직의 구성, 나이, 국소적 각막두께 등을 포함한다.¹⁴ 인체의 각막은 중심 부분이 가장 얇으며, 비구면곡률을 가지고있으며 비등방성(anisotropic)의 특성이 있어 다른방향으로 stress가 가해질 때 다른 각막의 특성을 보여준다.¹⁵ 이러한 각막의 생체역학적 특성은 lamina cribrosa level에서의 결체조직의 특성을 어느 정도 반영하기 때문에 이를 측정하는 것은 녹내장 환자의 진단과 진행의 평가에 있어서 중요하다고 할 수 있다.¹⁶⁻¹⁸ 앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 정상대조군과 녹내장군의 각막의 생체역학적 특성을 비교하였고 녹내장의 평가에 유용성이 있는지 확인하였다. 공기 분출 후 각막의 변형이 Highest concavity시에 측정되는 highest concavity time (16.93 ± 0.66 ms vs 16.48 ± 0.84 ms $p=0.020$)과 peak distance (4.23 ± 1.34 mm vs 3.41 ± 1.27 mm, $p=0.017$)가 정상대조군에 비해 녹내장 환자군에서 감소되어 있는 소견을 보였으며 Radius (7.19 ± 0.78 mm vs 6.85 ± 0.78 mm $p=0.088$)와 Deformation Amplitude (1.18 ± 0.13 vs 1.11 ± 0.16 , $p=0.051$) 역시 정상대조군보다 녹내장 환자군에서 감소되어 있었으나 그 차이는 통계학적으로 유의하지는 않았다. Highest concavity 시의 측정되는 네 가지 parameter를 볼 때 정상대조군보다 녹내장 환자군에서 각막의 elasticity나 viscosity가 떨어져 있음을 확인할 수 있었다. 이는 녹내장 환자의 각막의 변형이 정상안에 비해 적다고 한 Smedowski et al¹⁹의 연구와 일치한다. 앞서 기술한 바와 같이 본 연구에 포함된 녹내장 환자군과 정상대조군에서의 안압의 유의한 차이가 없었기 때문에 각막

변형에 있어서 안압에 의한 저항 요소는 배제할 수 있었다. 이 결과들을 종합해 보았을 때 녹내장 환자들은 lamina cribrosa 등 안구내 다른 결체조직도 elasticity나 viscosity가 감소되어 있을 수 있기 때문에 각 개인의 목표 안압 이하의 안압에서는 잘 견디는 특성을 보일 수 있으나 임계점 이상의 안압 상승이 있어 lamina cribrosa에 심한 deformation을 유발할 때는 충격의 흡수가 없이 더 많은 손상을 줄 수 있다고 유추해 볼 수 있었다.

현재 임상적으로 가장 정확하다고 알려진 안압측정계는 GAT이며 이외에 간편하고 짧은 시간에 안압을 측정할 수 있는 NCT나 RBT가 최근 많이 사용되고 있다. 이들 안압계들은 각각 장단점이 있으며 각각의 안압계를 비교하는 연구들은 지속적으로 이루어지고 있다.²⁰⁻²³ 본 연구의 결과에서와 같이 CST는 이러한 안압계들을 대체하여 사용할 수 있으며 중심각막두께 및 각막의 생체역학적 특성을 보여준다는 점에서 장점이 있었다. 또한 안압을 정확히 평가하고 지속적으로 치료해야 하는 녹내장 환자군에서 역시 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각한다. 특히 각막의 생체역학적 특성 중 highest concavity parameter는 녹내장 환자들의 각막의 viscosity나 elasticity를 파악하는 데 도움을 주고, 나아가 lamina cribrosa 등 녹내장의 진단과 치료에 중요한 안구내 모든 결체조직의 특성을 알아내는 데도 어느 정도 도움을 줄 것으로 생각한다.

본 연구의 제한점으로 첫째, 연구 대상자가 수가 적다는 것이며 둘째, 녹내장 환자군의 안압이 대부분 정상으로 조절되고 있어 안압이 조절되지 않는 녹내장 환자군에서의 CST의 값의 특성을 평가하지 못했다는 것이다. 셋째 정상안과 녹내장 환자군에서의 이러한 각막의 생체역학적 특성의 차이가 녹내장 점안약의 장기간 사용에 의한 변화인지는 완전히 배제할 수 없다는 점이다. 추후 이에 대한 보완연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각한다.

결론적으로 저자들은 이번 연구를 통해 CST가 현재 안압을 측정하는 방식인 GAT, NCT, 혹은 RBT와 우수한 일치성을 보이고 초음파로 측정한 중심각막두께 측정값과도 높은 일치성 및 상관성을 보여 충분히 기존 안압계 및 각막두께 측정 방식을 대체할 수 있음을 확인하였다. 또한 각막의 생체역학적 특성을 이용하여 녹내장의 위험도를 예측하고 치료하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- 1) Comparison of glaucomatous progression between untreated patients with normal-tension glaucoma and patients with therapeutically reduced intraocular pressures. Collaborative Normal-Tension Glaucoma Study Group. *Am J Ophthalmol* 1998;126:487-97.
- 2) Leske MC, Heijl A, Hyman L, et al. Predictors of long-term pro-

- gression in the early manifest glaucoma trial. *Ophthalmology* 2007;114:1965-72.
- 3) Chihara E. Assessment of true intraocular pressure: the gap between theory and practical data. *Surv Ophthalmol* 2008;53:203-18.
- 4) Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Surv Ophthalmol* 2000;44:367-408.
- 5) Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:146-55.
- 6) Cook JA, Botello AP, Elders A, et al. Systematic review of the agreement of tonometers with Goldmann applanation tonometry. *Ophthalmology* 2012;119:1552-7.
- 7) Kotecha A, White ET, Shewry JM, Garway-Heath DF. The relative effects of corneal thickness and age on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Br J Ophthalmol* 2005;89:1572-5.
- 8) 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.
- 9) Kwon TH, Ghaboussi J, Pecknold DA, Hashash Y. Role of corneal biomechanical properties in applanation tonometry measurements. *J Refract Surg* 2010;26:512-9.
- 10) Sullivan-Mee M, Billingsley SC, Patel AD, et al. Ocular Response Analyzer in subjects with and without glaucoma. *Optom Vis Sci* 2008;85:463-70.
- 11) Huseynova T, Waring GO 4th, Roberts C, et al. Corneal biomechanics as a function of intraocular pressure and pachymetry by dynamic infrared signal and Scheimpflug imaging analysis in normal eyes. *Am J Ophthalmol* 2014;157:885-93.
- 12) Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:156-62.
- 13) Hong J, Xu J, Wei A, et al. A new tonometer--the Corvis ST tonometer: clinical comparison with noncontact and Goldmann applanation tonometers. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:659-65.
- 14) Chang DH, Stulting RD. Change in intraocular pressure measurements after LASIK the effect of the refractive correction and the lamellar flap. *Ophthalmology* 2005;112:1009-16.
- 15) Kotecha A. What biomechanical properties of the cornea are relevant for the clinician? *Surv Ophthalmol* 2007;52 Suppl 2:S109-14.
- 16) Morita T, Shoji N, Kamiya K, et al. Corneal biomechanical properties in normal-tension glaucoma. *Acta Ophthalmol* 2012;90:e48-53.
- 17) 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.
- 18) Yu AY, Duan SF, Zhao YE, et al. Correlation between corneal biomechanical properties, applanation tonometry and direct intracameral tonometry. *Br J Ophthalmol* 2012;96:640-4.
- 19) Smedowski A, Weglarz B, Tarnawska D, et al. Comparison of three intraocular pressure measurement methods including biomechanical properties of the cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55:666-73.
- 20) Poostchi A, Mitchell R, Nicholas S, et al. The iCare rebound tonometer: comparisons with Goldmann tonometry, and influence of central corneal thickness. *Clin Experiment Ophthalmol* 2009;37:687-91.
- 21) Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Castillo A, Garcia-Sanchez J. Reproducibility and clinical evaluation of rebound tonometry.

Invest Ophthalmol Vis Sci 2005;46:4578-80.
22) Jablonski KS, Rosentreter A, Gaki S, et al. Clinical use of a new position-independent rebound tonometer. J Glaucoma 2013;22:763-7.

23) Bhartiya S, Bali SJ, Sharma R, et al. Comparative evaluation of TonoPen AVIA, Goldmann applanation tonometry and non-contact tonometry. Int Ophthalmol 2011;31:297-302.

= 국문초록 =

Corvis ST 안압계와 타안압계와의 안압 비교 및 녹내장 환자에서의 임상적 유용성

목적: 공기분사에 따른 각막 변형을 보면서 동시에 안압을 측정할 수 있는 새로운 안압계인 Corvis ST 안압계(CST)와 골드만 압평안압계(GAT), 비접촉안압계(NCT), 리바운드안압계(RBT)로 측정된 안압을 비교하여 각 안압계의 일치성에 대해 알아보고, 녹내장 평가에 있어 임상적 유용성에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 정상안 31안 녹내장환자 47안을 CST, GAT, NCT, RBT를 이용하여 안압을 측정하였다. 각 안압계로 측정한 안압의 일치도를 분석하기 위해 Bland-Altman plot을 이용하였으며 각 안압계의 상관관계를 조사하기 위해 Spearman 상관분석을 시행하였다. CST와 초음파를 이용하여 중심각막두께를 비교하였고 일치도를 분석하였다. 또한 녹내장환자와 정상안의 CST로 측정된 각막의 생체역학적 수치들을 비교분석하였다.

결과: 각 안압계로 측정한 모든 대상군의 안압은 CST: 13.28 ± 2.32 mmHg, GAT: 14.71 ± 2.95 mmHg, NCT: 14.44 ± 3.10 mmHg, RBT: 13.23 ± 2.89 mmHg이었다. 각 안압계 간에 안압은 통계학적으로 유의한 차이는 없었으며 Bland-Altman plot에서 CST는 GAT, NCT, RBT와 높은 일치도를 보였고 상관분석에서도 높은 상관관계를 보였다. CST와 초음파로 측정한 각막중심두께도 높은 일치도를 보였다. 정상군과 녹내장환자에서 CST의 생체역학적 수치를 비교하였을 때 녹내장 환자에서 highest concavity time와 peak distance가 통계학적으로 유의하게 감소하였다(16.93 ± 0.66 ms vs 16.48 ± 0.84 ms $p=0.020$, 4.23 ± 1.34 mm vs 3.41 ± 1.27 mm $p=0.017$).

결론: Corvis ST 안압계는 안압 및 중심각막두께 측정에 있어 기존의 안압계를 대체할 수 있으며 각막의 생체역학적 특성 역시 보여준다. Highest concavity time와 peak distance 수치가 녹내장 환자군에서 통계학적으로 유의하게 감소하는 것을 볼 때 녹내장환자에서 각막 점도 및 탄성이 감소되는 것을 유추해 볼 수 있다.

〈대한안과학회지 2015;56(3):404-412〉
