

정상 한국인에서 Corvis ST와 골드만압평안압계, 리바운드안압계로 측정된 안압 비교

Comparison of Intraocular Pressures Measured by the Corvis ST and Other Tonometers in Normal Eyes

이승훈 · 문정일 · 정윤혜

Seung-hoon Lee, MD, Jung-il Moon, MD, PhD, Youn Hea Jung, MD, PhD

가톨릭대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, College of Medicine, The Catholic University, Seoul, Korea

Purpose: We compared the intraocular pressures (IOPs) measured by the Corvis ST (CST), Goldmann applanation tonometer (GAT), and Rebound tonometer (RBT) and correlated the measured IOPs with the corneal center thickness (CCT).

Methods: The IOPs were measured in 34 eyes of 34 normal subjects using the CST, GAT, and RBT by independent examiners. Comparisons between the IOPs measured by the CST and other tonometers were made using paired *t*-tests and Bland-Altman plots and Pearson's correlation coefficient was used to correlate the measured IOPs with the CCTs.

Results: The IOP measured by the CST (C-IOP; 14.57 ± 2.37 mmHg) was significantly higher than that measured by the GAT (13.56 ± 2.25 mmHg) and RBT (13.57 ± 3.26 mmHg) ($p < 0.05$). The biomechanically corrected C-IOP (C-bIOP; 13.40 ± 2.06 mmHg) showed no difference from the GAT-IOP and RBT-IOP ($p > 0.50$). In analyzing the correlation with CCT, RBT-IOP ($R = 0.34$; $p = 0.05$) showed a lower correlation than the GAT-IOP ($R = 0.49$; $p < 0.01$) and C-IOP ($R = 0.48$; $p < 0.01$). The C-bIOP showed no correlation with the CCT ($p = 0.74$).

Conclusions: The IOP measurements using the C-IOP were significantly higher than the RBT-IOP and GAT-IOP but the C-bIOP showed no difference from the RBT-IOP and GAT-IOP. C-IOP, RBT-IOP, and GAT-IOP were significantly correlated with corneal thickness, but there was no correlation between CCT and C-bIOP. C-bIOP may therefore be considered clinically useful. J Korean Ophthalmol Soc 2019;60(12):1250-1256

Keywords: Biomechanical corrected intraocular pressure, Central corneal thickness, Corvis ST

안압은 녹내장의 가장 중요한 예후인자이며 안압의 조절은 녹내장의 주된 치료기준으로 사용되고 있다.¹⁻⁴ 따라서 정확한 안압의 측정이 녹내장 환자의 평가에 있어서 매우

중요하다. 임상에서는 다양한 방법으로 안압의 측정이 이루어지고 있는데, 널리 쓰이는 것으로 골드만압평안압계(Goldmann applanation tonometer, GAT), 비접촉안압계(non-contact tonometer, NCT), 리바운드안압계(rebound tonometer, RBT) 등이 있다. 이 중 골드만압평안압계(GAT)가 가장 정확도가 높다고 알려져 있으며 안압측정법의 기준(gold standard)으로 사용되고 있다.⁵ 리바운드안압계(RBT)는 직경 1 mm 정도의 탐침이 각막에 충돌되고 다시 튀어나올 때의 속도 변화를 통해 안압을 측정하는 유발과 충돌(inductive/impact)의 원리를 사용한 안압계로, 숙련도가 많이 요구되지 않으며 정상안을 대상으로 진행된 연구에서

■ Received: 2019. 5. 22. ■ Revised: 2019. 6. 10.

■ Accepted: 2019. 12. 6.

■ Address reprint requests to Youn Hea Jung, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital,
#10 63-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07345, Korea
Tel: 82-2-3779-1245, Fax: 82-2-761-6869
E-mail: younhea@hotmail.com

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

© 2019 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.

골드만압평안압계(GAT)와 유사하게 정확한 안압측정이 가능하다고 보고된 바 있다.^{6,7} 중심각막두께(central corneal thickness, CCT)를 비롯한 각막의 생체역학적 요소들이 안압의 측정에 영향을 줄 수 있는데,^{5,8,9} 리바운드안압계(RBT)의 경우 골드만압평안압계(GAT)와 마찬가지로 일반적으로 중심각막두께(CCT)의 영향을 받는 것으로 알려져 있으나^{10,11} 일부에서 이에 영향을 받지 않는다는 상반된 보고도 있다.¹²

이러한 생체역학적 요소를 고려한 ocular response analyzer (ORA)와 같은 안압계들이 제시된 바 있는데, ORA는 비접촉안압계 방식의 일종으로 공기압이 가해지면서 각막이 오목해질 때의 압평지점 및 다시 본래의 볼록한 모양으로 돌아올 때의 압평지점 두 군데에서 안압을 측정한다. 이 두 안압의 차이를 각막이력현상(corneal hysteresis, CH)이라고 하며 각막조직의 점탄성에 의해 가해진 힘이 감쇠되는 성질을 의미하는데, 이는 중심각막두께(CCT) 등과 함께 각막의 생체역학적 특성을 나타낸다. 낮은 CH는 녹내장 환자에서 시야결손 진행속도의 위험인자로 밝혀졌으며,¹³ 이를 바탕으로 ORA 계측치의 유용성을 확인한 연구도 진행된 바 있다.¹⁴

이후 도입된 Corvis Scheimpflug-Technology tonometer (CST; Oculus, Wetzlar, Germany)는 비접촉안압계 방식으로 안압 측정과 함께 각막의 생체역학적 요소를 평가하는 안압계이다. CST는 샤임플러그(Scheimpflug) 카메라를 통해 초당 4,330장의 이미지를 촬영하여 공기 분사 시 각막이 변형되는 과정, 즉 동적변형(dynamic deformation)을 보여 준다. CST에서 측정하는 생체역학적 요소에는 압평지점까지 도달하는 시간(time), 압평지점까지의 길이(length), 압평지점에 도달하는 동안의 각막의 속도(velocity)가 있으며, 이 값들은 각막이 오목해졌다가 다시 볼록하게 돌아오는 과정에서 발생하는 두 압평지점에서 각각 한 번씩 측정된다. 이외에도 각막의 정점(highest concavity)에서 공기 분사 시 뒤로 밀리는 양에서 안구 전체의 움직임을 뺀 값인 변형 진폭(deformation amplitude), 각막의 만곡지점 사이 거리(distance), 곡률의 오목반경(radius of curvature)이 측정된다. CST에서 안압 측정 시에는 단순 산출한 안압(intraocular pressure measured with Corvis ST, C-IOP) 및 이러한 생체역학적 요소를 반영하여 교정된 안압(biomechanically corrected C-IOP, C-bIOP)이 같이 나타난다.

본 연구에서는 한국인 정상안을 대상으로 CST로 단순 측정한 안압(C-IOP) 및 이를 생체역학적으로 보정한 안압(C-bIOP)을 골드만압평안압계(GAT), 리바운드안압계(RBT)로 측정한 안압과 비교해보고, 측정된 안압들과 중심각막두께(CCT)와의 상관관계를 분석하여 CST의 임상적 유용

성에 대해 알아보았다.

대상과 방법

2018년 6월부터 2018년 7월까지 여의도성모병원 안과에서 진료를 시행한 환자 중 정상인 34명 34안(남자 13명, 여자 21명)을 대상으로 후향적 연구를 시행하였으며, 헬싱키선언에 입각한 가톨릭대학교 연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받아(승인 번호: SC18RESI0127) 진행되었다. 모든 대상자에게 전신질환, 수술력 등을 문진하였으며 시력검사, 현성굴절검사, 세극등현미경검사, 안저검사를 통해 전안부, 망막, 녹내장질환 여부를 확인하였다. 정상안의 경우 안구건조증 및 경한 백내장을 제외한 안과적 질환을 갖고 있거나, 안과적 수술력이 있는 안은 제외하였고, 양안 모두 정상인 경우 대상안은 단안을 무작위로 선정하였다.

본 연구에서는 CST로 측정 시 단순 산출한 안압(C-IOP)과 환자의 중심각막두께(CCT)를 비롯한 생체역학적 요소를 반영하여 교정된 안압(C-bIOP)을 구하고, 이를 골드만압평안압계(GAT), 리바운드안압계(RBT)로 측정한 안압과 비교하였다. 안압은 CST (Oculus, 골드만압평안압계(GAT 900®; Haag-Streit, Bern, Switzerland), 리바운드안압계(Icare® PRO; Icare Finland, Helsinki, Finland)로 측정하였다. 안압 측정은 앉은 자세에서 숙련된 동일한 검사자(Y.H.J)에 의해 측정되었다. 골드만압평안압계(GAT)는 0.5% 염산 프로파라카인 과형광물질이 혼합된 용액을 결막낭에 점안하여 측정하였으며, 리바운드안압계(RBT)는 제1 안위에서 6회 측정 후 그 평균값을 구하였다.

CST, 리바운드안압계(RBT), 골드만압평안압계(GAT)로 측정된 안압 계측치 간의 비교는 Bland-Altman plot과 paired

Table 1. Baseline characteristics and IOP measured by different tonometers

Variable	Value
Age (years)	54.26 ± 12.32
Sex (male/female)	13/21
CCT (μm)	553.47 ± 40.57
GAT (mmHg)	13.56 ± 2.25
RBT (mmHg)	13.57 ± 3.26
C-IOP (mmHg)	14.57 ± 2.37
C-bIOP (mmHg)	13.40 ± 2.06

Values are presented as mean ± standard deviation unless otherwise indicated.

IOP = intraocular pressure; CCT = central corneal thickness; GAT = Goldmann applanation tonometer; RBT = Rebound tonometer; C-IOP = intraocular pressure measured with Corvis ST; C-bIOP = biomechanically corrected C-IOP.

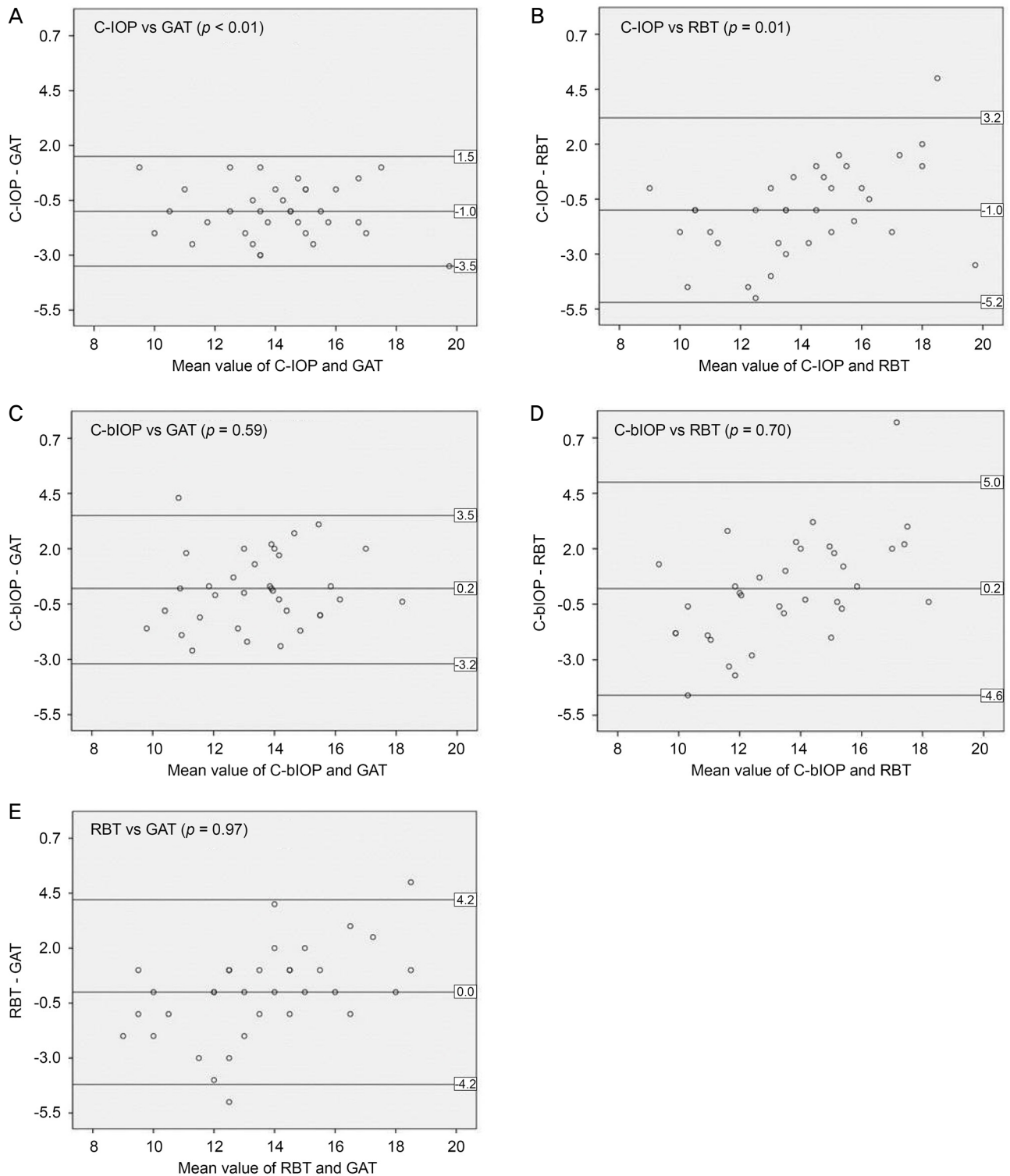


Figure 1. Comparisons between IOPs measured by different tonometers. (A) C-IOP vs. GAT, (B) C-IOP vs. RBT, (C) C-bIOP vs. GAT, (D) C-bIOP vs. RBT, (E) RBT vs. GAT. Bland-Altman plots between different tonometers. The solid line indicates mean difference of both tonometers. The dotted lines are 95% of limits of agreement. C-IOP = intraocular pressure measured with Corvis ST tonometer; GAT = Goldmann applanation tonometer; RBT = rebound tonometer; C-bIOP = biomechanically corrected C-IOP.

t-test를 통해 분석하였으며 중심각막두께(CCT)와 안압 계측치 간의 상관관계는 Pearson 상관계수를 통해 알아보았다. 통계분석은 SPSS ver. 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였으며 *p*값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의하다고 정의하였다.

결 과

대상 환자 34명 34안 중 남자는 13안, 여자는 21안이며 평균 연령은 54.26 ± 12.32 세(범위, 27-83세)였다. CST로 측정한 두 안압의 평균과 표준편차는 C-IOP의 경우 14.57 ± 2.37 mmHg, C-bIOP는 13.40 ± 2.06 mmHg였다. 골드만 압평안압계(GAT)로 측정한 안압의 평균과 표준편차는

13.56 ± 2.25 mmHg, 리바운드안압계(RBT)의 경우 13.57 ± 3.26 mmHg였다(Table 1). 환자마다 안압측정 순서는 무작위로 정하였으며 각각의 안압 측정 사이에는 5분 이상의 간격이 있었고 안압계 및 중심각막두께(CCT) 측정은 1시간 이내에 시행되었다.

Paired *t*-test로 분석한 결과 C-IOP가 리바운드안압계(RBT)보다 1.00 ± 2.12 mmHg 높고($p=0.01$) C-IOP가 골드만압평안압계(GAT)보다 0.99 ± 1.26 mmHg 높아($p<0.01$) 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며, 리바운드안압계(RBT)와 C-bIOP와 차이는 0.17 ± 2.40 mmHg ($p=0.70$), 골드만압평안압계(GAT)와 C-bIOP와 차이는 0.16 ± 1.69 mmHg ($p=0.59$), 리바운드안압계(RBT)와 골드만압평안압계(GAT)의 차이는 0.01 ± 2.12 mmHg ($p=0.97$)로 통계학적으로 의

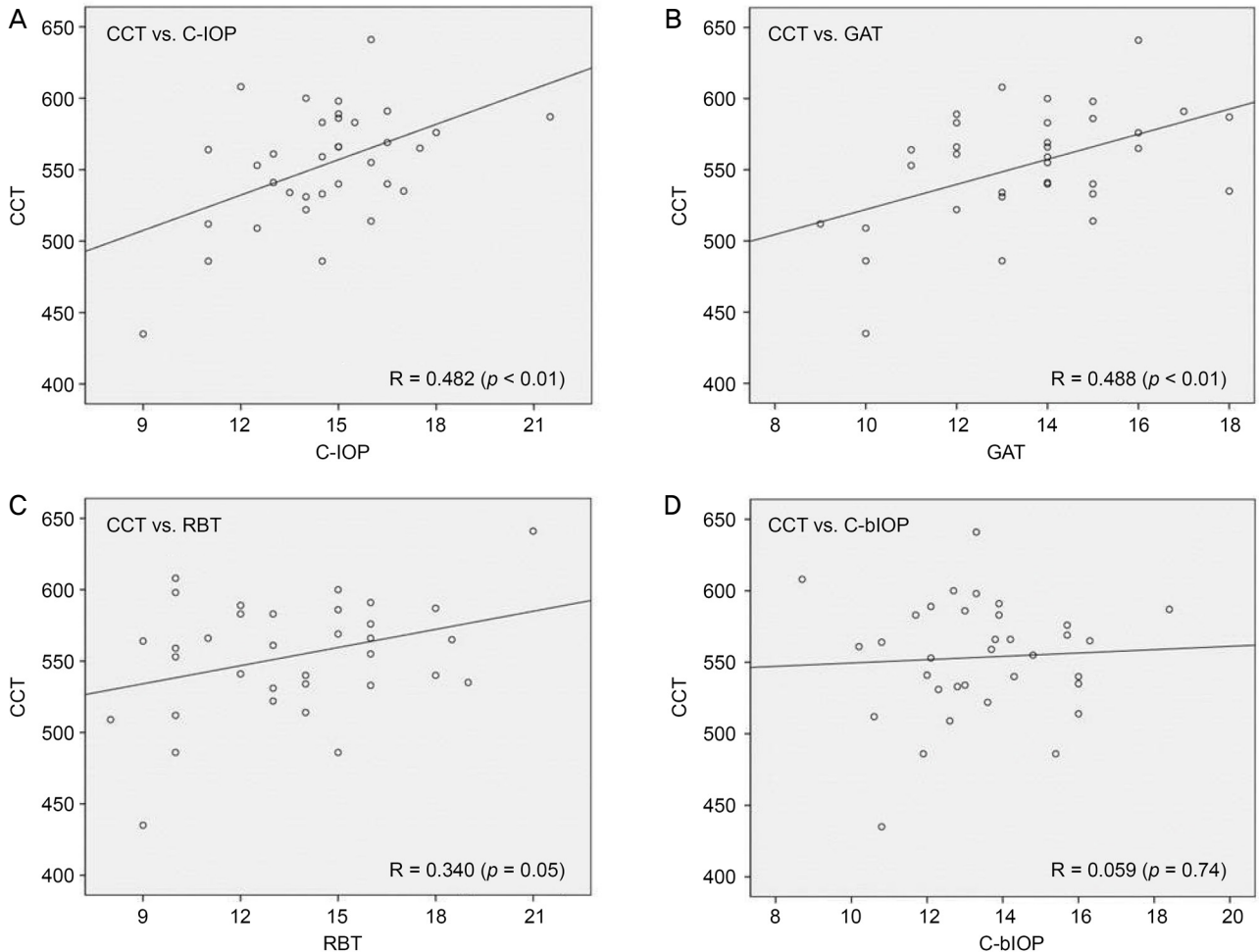


Figure 2. Correlation between CCT vs. RBT, GAT, C-IOP, and C-bIOP. (A) CCT vs. C-IOP, (B) CCT vs. GAT, (C) CCT vs. RBT, and (D) CCT vs. C-bIOP. Moderated positive linear correlation were noted between CCT and C-IOP ($R = 0.482$, $p < 0.01$), CCT and GAT ($R = 0.488$, $p < 0.01$), CCT and RBT ($R = 0.340$, $p = 0.05$). The correlation between CCT and C-bIOP was not significant ($p = 0.74$). CCT = central corneal thickness; C-IOP = intraocular pressure measured with Corvis ST; GAT = Goldmann applanation tonometer; RBT = rebound tonometer; C-bIOP = biomechanically corrected C-IOP.

미 있는 차이를 나타내지 않았다(Fig. 1).

또한 중심각막두께(CCT)의 평균과 표준편차는 $553 \pm 41 \mu\text{m}$ 였다. Pearson 상관분석에서 중심각막두께(CCT)와 리바운드안압계(RBT) ($R=0.340$, $p=0.05$), 중심각막두께(CCT)와 골드만압평안압계(GAT) ($R=0.488$, $p<0.01$), CCT와 C-IOP ($R=0.482$, $p<0.01$)는 서로 양의 선형관계로 의미 있는 상관성을 보였으며, 중심각막두께(CCT)와 C-biOP ($p=0.74$)는 의미 있는 상관성을 보이지 않았다(Fig. 2).

고 찰

녹내장의 진단 및 평가, 치료 방침에 있어서 정확한 안압의 측정은 매우 중요하다. 부정확한 안압의 측정으로 비롯된 녹내장의 발견 및 치료의 지연은 향후 환자의 시야장애, 시신경손상을 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각막의 생체역학적 요소를 반영하여 안압 측정의 정확도를 높인 새로운 안압계인 CST의 유용성을 알아보고자 하였다. CST를 현재 안압 측정의 기준으로 평가 받고 있는 골드만압평안압계(GAT), 측정이 간편하고 골드만압평안압계(GAT)와 유사하게 정확한 안압측정이 가능한 리바운드안압계(RBT)와 비교하였으며 이와 더불어 측정된 안압과 중심각막두께(CCT)의 상관관계를 분석하여 CST의 임상적 유용성에 대해 살펴보았다.

CST는 기존 비접촉안압계처럼 각막이 압평지점까지 변형되는데 걸리는 시간을 통해 안압을 측정하며(C-IOP), 생체역학적 요소를 보정한 안압(C-biOP)을 함께 산출한다. 안압을 보정하는 안압계로는 dynamic contour tonometer (DST), ORA 등이 소개된 바 있다. DST는 접촉안압계로서 tonometer tip을 오목한 모양으로 만들어 측정 과정에서 각막의 변형을 최소화하는 방식을 사용하고, ORA는 CCT의 영향을 줄이기 위해 LASIK 수술 환자의 임상 데이터를 통해 구한 각막의 두 압평지점의 압력과 상수에 기초한 알고리즘으로 보정된 안압을 구한다. 이와 달리 CST는 고속 Scheimpflug 카메라를 사용하여 외부의 공기압에 의해 각막의 전방 및 후방이 변형되는 과정을 다량의 데이터로 축적하여 보정 알고리즘을 만드는 방법을 사용한다.¹⁵⁻¹⁷

각막의 생체역학적 요소에는 각막두께, 연령, 점성, 탄력성, 점탄성 등이 있다.¹⁸ 이러한 요소들은 서로 영향을 주거나, 이들 요소가 직접 안압에 영향을 준다는 연구들이 많이 진행되었다. 이를테면 연령이 증가할수록 각막의 탄성이 증가하거나, 중심각막두께가 두꺼울수록 안압이 높게 측정된다는 것이다.^{9,19,20} 따라서 이러한 요소들을 반영한 보다 정확한 안압계의 사용이 필요할 것이며 원추각막, 포크시상증 질환 및 굴절수술을 시행한 환자 등에서 그 역할이 더

욱 중요할 것으로 보인다.²¹⁻²³ 현재 임상에서 정확도가 높아 표준으로 평가받는 안압계는 골드만압평안압계(GAT)이며 편리하고 빠른 측정이 가능한 안압계로는 NCT, 리바운드안압계(RBT)가 있다. 이후 생체역학적 요소를 함께 평가할 수 있는 ORA, CST 등의 안압계가 제시되었다. 이 안압계들은 각각 장단점이 있으며 이들을 비교하고 각각의 유용성을 알아보는 연구들은 계속 진행되고 있다.²⁴⁻²⁶

리바운드안압계(RBT)와 골드만압평안압계(GAT)로 측정한 안압 사이에는 유의한 차이가 없었다. CST로 측정한 안압 중 C-IOP는 리바운드안압계(RBT), 골드만압평안압계(GAT)로 측정한 안압보다 유의하게 높은 값을 보였으나, C-biOP는 리바운드안압계(RBT), 골드만압평안압계(GAT)로 측정한 안압과 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이와 관련해 Han and Ha²⁷에서도 CST로 측정한 안압과 골드만압평안압계(GAT), 리바운드안압계(RBT)로 측정한 안압을 비교하여 유의한 차이가 없다는 연구 결과가 있으며, Eliasy et al²⁸에서는 생체 외 안구 내에서 직접 측정한 true IOP와 C-biOP가 일치성을 보이는 등 CST 계측치의 신뢰도를 뒷받침하는 연구가 발표된 바 있다. Han and Ha²⁷의 경우 대 상군에 정상인뿐만 아니라 녹내장 환자가 포함되어 있는데, 녹내장이 진행하면서 각막조직의 특성이 변할 수 있으며²⁹ 안압약 사용에 따라 각막의 생체역학적인 변화가 일어날 수 있어³⁰ 이러한 교란인자로 인해 본 논문과 다른 결과를 나타냈다고 생각해볼 수 있다. Eliasy et al²⁸은 체외 상태의 사람의 안구 내에 직접 탐촉자를 설치하여 구한 안압인 true IOP를 C-biOP와 비교하였는데, 이는 각막 자체의 요소를 배제한 측정값으로서 이를 통해 C-biOP가 생체역학적 요소를 잘 반영하였는지 확인하였다.

중심각막두께(CCT)는 리바운드안압계(RBT), 골드만압평안압계(GAT), C-IOP와 유의한 양의 상관관계를 보였으나, C-biOP와는 상관관계가 유의하게 나타나지 않았다. 리바운드안압계(RBT)의 경우 골드만압평안압계(GAT), C-IOP보다 중심각막두께(CCT)와 낮은 상관관계를 보였는데, 이는 안압측정 시 상대적으로 접촉면적이 작고 각막의 변형을 적게 유발하는 측정 원리에 기인한 것이라고 생각해볼 수 있다. Bañeros-Rojas et al,³¹ Valbon et al³²의 연구에서도 C-IOP와 중심각막두께(CCT)가 양의 상관관계를 가진다고 발표된 바 있으며 이는 본 연구의 결과와 일치한다. 하지만 C-biOP와 중심각막두께(CCT)와의 관계를 살펴본 연구는 없었으며, 이 두 요소 간의 유의한 상관관계가 없는 것을 보았을 때 C-biOP가 생체역학적 요소를 적절하게 반영하여 안압을 보정하였고, 따라서 이를 임상적으로 유용하게 사용할 수 있을 것이라 생각한다.

본 연구에서는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 모든 대상

자의 검사 시각을 일정하게 조절하지 않았다. 대상자 한 명을 대상으로 서로 다른 안압계들은 1시간 이내의 간격을 두고 측정되었으나, 대상자별 검사 시각은 일정하지 않았다. 따라서 일중 변동 가능한 안압계로 알려진 골드만압평안압계(GAT), 리바운드안압계(RBT) 등을 비교 시 이로 인한 오차 발생 가능성이 있다. 둘째, 대상자 수가 적고 정상 안만을 대상으로 시행했다는 점이다. 이는 녹내장을 비롯한 타 안과적 질환이 있는 안에서 다른 결과가 나올 가능성이 있어 이에 대해 지속적인 연구가 필요할 것이다. 마지막으로, 후향적 연구로 진행되어 안압 측정에서 발생할 수 있는 변수들을 모두 통제하는 데 한계가 있었다는 점을 들 수 있다.

본 연구를 통해 저자들은 CST로 측정한 C-bIOP가 골드만압평안압계(GAT), 리바운드안압계(RBT)로 측정한 안압과 우수한 일치성을 보여 기존 안압계를 대체할 수 있다는 가능성을 확인하였다. 또한 중심각막두께와 유의한 연관관계를 보이지 않아 CST로 측정한 C-bIOP는 각막의 생체역학적 요소의 영향을 적게 받는 수치로서, 안압 측정에 있어 임상적으로 유용하게 사용될 수 있으리라 생각된다.

REFERENCES

- Coleman AL, Miglior S. Risk factors for glaucoma onset and progression. *Surv Ophthalmol* 2008;53 Suppl1:S3-10.
- Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al. The ocular hypertension treatment study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002;120:714-20; discussion 829-30.
- Leske MC, Heijl A, Hussein M, et al. Factors for glaucoma progression and the effect of treatment: the early manifest glaucoma trial. *Arch Ophthalmol* 2003;121:48-56.
- Leske MC, Heijl A, Hyman L, et al. Predictors of long-term progression in the early manifest glaucoma trial. *Ophthalmology* 2007;114:1965-72.
- Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:146-55.
- Jorge J, Fernandes P, Queirós A, et al. Comparison of the IOPen and iCare rebound tonometers with the Goldmann tonometer in a normal population. *Ophthalmic Physiol Opt* 2010;30:108-12.
- Fernandes P, Díaz-Rey JA, Queirós A, et al. Comparison of the iCare rebound tonometer with the Goldmann tonometer in a normal population. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005;25:436-40.
- 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.
- Francis BA, Hsieh A, Lai MY, et al. Effects of corneal thickness, corneal curvature, and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Ophthalmology* 2007;114:20-6.
- Jorge JM, González-Méjome JM, Queirós A, et al. Correlations between corneal biomechanical properties measured with the ocular response analyzer and iCare rebound tonometry. *J Glaucoma* 2008;17:442-8.
- Salim S, Du H, Wan J. Comparison of intraocular pressure measurements and assessment of intraobserver and interobserver reproducibility with the portable iCare rebound tonometer and Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. *J Glaucoma* 2013;22:325-9.
- Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. *Ophthalmology* 2008;115:80-4.
- De Moraes CV, Hill V, Tello C, et al. Lower corneal hysteresis is associated with more rapid glaucomatous visual field progression. *J Glaucoma* 2012;21:209-13.
- Cho GE, Jun RM, Choi KR. Reproducibility of ocular response analyzer and comparison with Goldmann applanation tonometer and non-contact tonometer. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012;53:1311-7.
- Kanngiesser HE, Kniestedt C, Robert YC. Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. *J Glaucoma* 2005;14:344-50.
- Montard R, Kopito R, Touzeau O, et al. Ocular response analyzer: feasibility study and correlation with normal eyes. *J Fr Ophtalmol* 2007;30:978-84.
- Koprowski R. Automatic method of analysis and measurement of additional parameters of corneal deformation in the Corvis tonometer. *Biomed Eng Online* 2014;13:150.
- 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.
- Medeiros FA, Weinreb RN. Evaluation of the influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurements using the ocular response analyzer. *J Glaucoma* 2006;15:364-70.
- 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.
- del Buey MA, Cristóbal JA, Ascaso FJ, et al. Biomechanical properties of the cornea in Fuchs' corneal dystrophy. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:3199-202.
- Brettl S, Franko Zeitz P, Fuchsluger TA. Evaluation of corneal biomechanics in keratoconus using dynamic ultra-high-speed Scheimpflug measurements. *Ophthalmologie* 2018;115:644-8.
- Hugo J, Granget E, Ho Wang Yin G, et al. Intraocular pressure measurements and corneal biomechanical properties using a dynamic Scheimpflug analyzer, after several keratoplasty techniques, versus normal eyes. *J Fr Ophtalmol* 2018;41:30-8.
- 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.
- Poostchi A, Mitchell R, Nicholas S, et al. The iCare rebound tonometer: comparisons with Goldmann tonometry, and influence of central corneal thickness. *Clin Exp Ophthalmol* 2009;37:687-91.
- Salouti R, Alishiri AA, Gharebaghi R, et al. Comparison among ocular response analyzer, Corvis ST and Goldmann applanation tonometry in healthy children. *Int J Ophthalmol* 2018;11:1330-6.
- Han JW, Ha SJ. Comparison of Corvis ST tonometer to other tonometers and clinical usefulness of Corvis ST tonometer. *J Korean Ophthalmol Soc* 2015;56:404-12.
- Eliasy A, Chen KJ, Vinciguerra R, et al. Ex-vivo experimental validation of biomechanically-corrected intraocular pressure measure-

- ments on human eyes using the CorVis ST. Exp Eye Res 2018;175: 98-102.
- 29) Coudrillier B, Pijanka JK, Jefferys JL, et al. Glaucoma-related changes in the mechanical properties and collagen micro-architecture of the human sclera. PLoS One 2015;10:e0131396.
- 30) Wu N, Chen Y, Yu X, et al. Changes in corneal biomechanical properties after long-term topical prostaglandin therapy. PLoS One 2016;11:e0155527.
- 31) Bañeros-Rojas P, Martinez de la Casa JM, Arribas-Pardo P, et al. Comparison between Goldmann, Icare Pro and Corvis ST tonometry. Arch Soc Esp Oftalmol 2014;89:260-4.
- 32) Valbon BF, Ambrósio R Jr, Fontes BM, Alves MR. Effects of age on corneal deformation by non-contact tonometry integrated with an ultra-high-speed (UHS) Scheimpflug camera. Arq Bras Oftalmol 2013;76:229-32.

= 국문초록 =

정상 한국인에서 Corvis ST와 골드만압평안압계, 리바운드안압계로 측정된 안압 비교

목적: Corvis ST, 골드만압평안압계(Goldmann applanation tonometer, GAT), 리바운드안압계(Rebound tonometer, RBT)로 측정된 안압을 서로 비교해보고, 측정된 안압과 각막중심두께(central corneal thickness, CCT)와의 상관관계를 알아보았다.

대상과 방법: 정상안 34안을 대상으로 독립된 검사자가 Corvis ST, GAT와 RBT로 안압을 측정하고 안압계별 측정값을 비교하였다.

결과: Corvis ST로 단순 측정된 안압(intraocular pressure measured with Corvis ST, C-IOP)은 14.57 ± 2.37 mmHg로 GAT로 측정된 안압(13.56 ± 2.25 mmHg)과 RBT로 측정된 안압(13.57 ± 3.26 mmHg)보다 유의하게 높은 값을 보였으며($p < 0.05$), Corvis ST에서 생체물리학적 요소를 반영하여 도출한 안압(biomechanically corrected C-IOP, C-biOP)은 13.40 ± 2.06 mmHg로 GAT-IOP, RBT-IOP와 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.50$). CCT와의 상관관계는 RBT-IOP ($R=0.34$, $p=0.05$)가 GAT-IOP ($R=0.49$, $p<0.01$), C-IOP ($R=0.48$, $p<0.01$)에 비해 낮은 상관관계를 보였다. C-biOP는 CCT와 상관관계를 보이지 않았다($p=0.74$).

결론: C-IOP는 RBT-IOP, GAT-IOP보다 유의하게 높았으나, C-biOP는 RBT-IOP, GAT-IOP와 차이를 보이지 않았다. C-IOP, RBT-IOP, GAT-IOP는 각막두께와 유의한 상관관계를 보였으나 C-biOP는 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 이로 볼 때 Corvis ST로 측정하여 생체물리학적 요소로 보정한 C-biOP가 임상적으로 유용할 것이라 생각된다.

〈대한안과학회지 2019;60(12):1250-1256〉

이승훈 / Seung-hoon Lee

가톨릭대학교 의과대학 안과학교실
Department of Ophthalmology,
College of Medicine,
The Catholic University

