

## 휴대용 안압계와 골드만 압평안압계로 측정한 안압 비교

정현호 · 박정원 · 박상우

전남대학교 의과대학 안과학교실

**목적:** 휴대용 안압계인 rebound 안압계와 TonoPen 압평안압계로 측정한 안압을 Goldmann 압평안압계(GAT)로 측정한 안압과 비교하고, 이에 영향을 줄 수 있는 인자들을 알아보고자 하였다.

**대상과 방법:** 463안을 대상으로 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계, TonoPen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계, 그리고 GAT로 안압을 측정하였다. 각 안압계로 측정한 안압의 일치도와 이에 영향을 미칠 수 있는 인자를 분석하기 위해 Bland-Altman plot, 급내상관계수, Pearson 상관분석 및 다중회귀분석을 시행하였다.

**결과:** Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 TonoPen AVIA<sup>®</sup> 안압은 각각 GAT 안압보다 높게 측정되었지만 유의한 차이는 보이지 않았으며( $p=0.307$ ,  $p=0.114$ ), Bland-Altman plot에서 GAT 안압과 높은 일치도를 보였다. Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 GAT 안압, 그리고 TonoPen AVIA<sup>®</sup> 안압과 GAT 안압의 차이는 중심각막두께가 증가할수록( $p=0.019$ ,  $p=0.035$ ) 또는 연령이 감소할수록( $p=0.041$ ,  $p=0.049$ ), 각각 증가하였다.

**결론:** 휴대용 안압계인 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계와 TonoPen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계로 측정한 안압은 GAT로 측정한 안압과 뚜렷한 상관관계를 보여, GAT로 측정이 어려운 환자에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되나, 안압 측정 시 중심각막두께와 연령 등을 고려하여야 하겠다.

〈대한안과학회지 2014;55(1):102-109〉

현재까지 녹내장의 발생 및 진행의 가장 중요한 위험인자는 안압으로 알려졌다.<sup>1-4</sup> 따라서 쉽고 정확한 안압 측정은 녹내장 환자를 평가하고 치료 계획을 세우는 데 필수적이라고 할 수 있다. 안압은 Goldmann 압평안압계(GAT), 비접촉 안압계, TonoPen 압평안압계 등으로 측정할 수 있으며, 최근에는 rebound 안압계, dynamic contour tonometry, ocular response analyzer tonometry 등이 사용되고 있다.<sup>5-7</sup> 아직까지 GAT가 가장 정확한 안압 측정계로 알려졌다. 임상적으로 많이 사용되고 있다. 하지만 GAT는 세극등 현미경을 통해서 앉은 자세에서만 측정이 가능하기 때문에 협조가 좋지 않은 고령환자 혹은 소아에서 측정이 불가능한 경우가 많으며, 점안마취제와 플루오레신 염색약의 점안이 필요하기 때문에 환자에게 불편감을 줄 수 있다는 단점이 있다.<sup>8,9</sup> 또한 GAT로 측정한 안압은 중심각막두

께(central corneal thickness), 각막의 생역학적 특성, 각막곡률, 눈물막 및 굴절교정수술 유무 등에 따라 측정오류가 발생할 수 있다.<sup>10,11</sup>

Rebound 안압계와 TonoPen 압평안압계는 휴대가 가능하고 사용하기 쉬운 장점이 있어 세극등 현미경 검사가 여러 가지 이유로 어려운 환자에게 유용할 수 있다. 그리하여 rebound 안압계와 TonoPen 압평안압계로 측정한 안압이 GAT 안압과 유의한 상관관계를 보인다는 여러 연구가 보고되었다.<sup>8,9,12-15</sup> 하지만 이전까지의 rebound 안압계(Icare<sup>®</sup>)는 앉은 자세에서 지면에 수직으로 세워서만 측정이 가능하다는 불편함이 남아있었다. 최근 새로 개발된 Icare Pro<sup>®</sup> (Icare Finland Oy, Helsinki, Finland) rebound 안압계는 내부에 built-in inclination sensor를 장착하여 누운 자세에서도 측정이 가능하게 되었다.<sup>16,17</sup>

국내에서 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계로 측정한 안압과 TonoPen AVIA<sup>®</sup> (Reichert Inc., NY, USA) 압평안압계로 측정한 안압을 GAT 안압과 비교한 연구는 없어, 이에 저자들은 한국인을 대상으로 하여 Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 TonoPen AVIA<sup>®</sup> 안압을 GAT 안압과 비교하여 알아보고자 하였다. 또한 이들 안압 간의 차이에 영향을 미치는 인자들에 대해 알아보고, 휴대용 안압계의 유용성 및 임상에서 적용하였을 때 고려할 점에 대해 조사하고자 하였다.

■ Received: 2013. 8. 2.                      ■ Revised: 2013. 8. 16.

■ Accepted: 2013. 12. 31.

■ Address reprint requests to Sang Woo Park, MD, PhD  
Department of Ophthalmology, Chonnam National University  
Hospital, #42 Jebong-ro, Dong-gu, Gwangju 501-757, Korea  
Tel: 82-62-220-6742, Fax: 82-62-227-1642  
E-mail: exo70@naver.com

\* This study was presented as a narration at the 109th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2013.

## 대상과 방법

2012년 6월부터 2012년 12월까지 본원에 내원한 정상 안압 녹내장 환자, 원발성개방각 녹내장 환자 및 안과 검진을 위해 내원한 정상 대조군을 대상으로 전향적인 연구를 시행하였다. 원발성개방각 녹내장의 진단은 녹내장 약물치료 시작 전 초기 안압이 21 mmHg 보다 높으며, 전방각경 검사 상 개방각을 보이며 녹내장성 시신경 유두손상과 이에 상응하는 시야 결손이 관찰되고 녹내장 이외의 시신경 손상을 일으킬 만한 원인질환이 없는 경우로 정의하였다. 정상안압 녹내장의 진단은 녹내장 약물치료 시작 전 초기 안압이 21 mmHg 이하이고, 전방각경 검사 상 개방각을 보이며 녹내장성 시신경 유두손상과 이에 상응하는 시야 결손이 관찰되고 녹내장 이외의 시신경 손상을 일으킬 만한 원인질환이 없는 경우로 정의하였다. 또한 정상대조군은 안압이 21 mmHg 보다 낮으며, 녹내장성 시신경 유두손상이나 시야결손이 없는 경우로 정의하였다. 6디옵터 이상의 굴절이상이나 3디옵터 이상의 각막 난시가 있는 환자, 각막혼탁이나 건성각결막염 등의 각막질환이 있는 환자, 안내 염증이 있는 환자, 외상의 병력이 있는 환자, 굴절교정수술을 시행 받은 환자, 백내장 등의 안구내 수술을 시행 받은 환자, 콘택트렌즈를 착용하는 환자, 정상안압 녹내장이나 원발성개방각 녹내장 이외의 녹내장 환자는 제외하였다. 최종적으로 정상안압 녹내장 환자 98명, 원발성개방각 녹내장 환자 86명, 정상대조군 279명이 연구에 참여하였다. 환자들의 단안만을 대상으로 하였으며, 양안일 경우에는 우안을 선택하였다.

모든 대상자들의 전신질환, 수술 기왕력 등의 병력을 조사하였으며, 시력검사와 자동굴절검사기(KR8900, Topcon Corporation, Tokyo, Japan)를 이용한 구면대응치(Spherical equivalent)를 측정하였다. 안압 측정은 앉은 자세에서 시행하였으며, 각막 형태 변화 등에 의한 오류를 줄이기 위해 각막에 접촉하는 면적이 작은 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계, TonoPen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계, 그리고 GAT (AT900; Haag-Streit, Köniz, Switzerland)의 순서로 진행하였다. 각각의 안압 측정 사이에는 10분 이상의 간격을 두었고, 각 측정기 구 별로 한 명의 숙련된 검사자에 의해 측정되었으며, 다른 안압계의 측정값은 모르게 하였다. Icare pro<sup>®</sup>는 rebound 안압계의 일종으로, 안압계에 장착된 버튼을 누르면 솔레노이드 내 탐침의 말단부가 1초당 약 0.2미터의 속도로 각막에 부딪힌 후 제자리로 돌아오게 되며, 이러한 탐침의 감속 시간이 측정되어 안압으로 표시된다.<sup>17</sup> 환자에게 정면을 주시하게 한 후 중심각막에서 3-7 mm 떨어진 거리에서 측정하였다. 6회 측정된 값들의 평균값이 기계 화면에 표시되

며, 이 값을 이용하였다. 측정값들 사이의 변이도가 정상 범위일 경우 녹색 배경, 변이도가 심할 경우는 빨강색 배경, 그리고 중간 정도의 변이도는 노랑색 배경으로 표시되며, 빨강색 혹은 노랑색 배경일 경우 재측정하였다.<sup>17</sup> TonoPen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계는 탐침이 각막과 수직이 되게 하고 최대한 각막에 압력이 가해지지 않게 5회 연속 측정한 값의 평균으로 하였다. 골드만 압평안압계는 점안 마취 후 3회 측정된 값의 평균으로 하였다.

세 종류의 안압계를 통한 안압측정 후, 초음파각막두께 측정계(Ultrasound pachymeter, model 850; Humphrey instruments, Inc., San Leandro, CA, USA)를 사용하여 중심각막두께를 측정하였으며, 5회 반복 측정하여 중간 값을 선택하였다. 안축장(axial length) 측정은 A-scan III (Mentor<sup>®</sup>, Mentor O & O, Inc., Norwell, USA)를 이용하였고, 국소마취 점안 후 동일한 검사자에 의해 측정하였으며, 각막함몰이 생기지 않도록 주의하였다.

세 가지 종류의 안압계로 측정된 안압을 ANOVA로 비교하였고, 사후분석은 Bonferroni method를 이용하였다. 서로 다른 안압계로 측정된 안압 사이의 일치도를 평가하기 위해 Bland-Altman plot과 급내상관계수(intraclass correlation coefficient) 분석을 시행하였다. 또한 각각의 안압계로 측정된 안압간의 상관성을 평가하고, 중심각막두께와의 연관성을 분석하기 위해 Pearson 상관분석을 시행하였다. 안압 측정값의 일치도에 영향을 미칠 수 있는 인자를 분석하기 위해 단순회귀분석을 시행하였고, 통계학적으로 유의한 결과를 보인 인자들을 대상으로 다중회귀분석을 시행하였다. 통계학적 분석은 SPSS version 17.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)와 MedCalc version 9.6 (MedCalc, Mariakerke, Belgium)를 이용하였으며,  $p$ 값이 0.05 미만인 경우를 유의하다고 정의하였다.

## 결 과

총 463명의 연령은 20세에서 81세까지 평균  $54.1 \pm 18.5$  세였고, 남자는 260명, 여자는 203명이었다. 당뇨병 환자는 125명, 고혈압 환자는 118명이었으며, 대상안의 구면대응치는 평균  $-3.5 \pm 3.1$  디옵터(D), 중심각막두께는 평균  $543.1 \pm 35.3 \mu\text{m}$ , 안축장 길이는 평균  $23.8 \pm 2.2 \text{ mm}$ 였다.

대상안의 안압은 GAT로 측정한 경우가 평균  $14.65 \pm 3.36 \text{ mmHg}$ 로 가장 낮았고, Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계  $15.14 \pm 3.38 \text{ mmHg}$ , Tonopen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계  $15.71 \pm 3.45 \text{ mmHg}$  순서였다. ANOVA 상 세가지 안압계로 측정한 안압 사이에 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않았다(GAT 안압과 Icare Pro<sup>®</sup> 안압;  $p=0.307$ , GAT 안압과 Tonopen

AVIA<sup>®</sup> 안압;  $p=0.114$ , Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압;  $p=0.276$ )(Table 1, Fig. 1).

각각의 안압계로 측정한 안압 사이의 일치도를 평가하기 위해 시행한 Bland-Altman plot에서는 GAT 안압과 Icare Pro<sup>®</sup> 안압, 그리고 GAT 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서 높은 일치도를 보였으며, 안압의 높고 낮음에 따라 뚜렷한 경향성을 보이지 않았다. Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 GAT 안압 사이의 95% 신뢰구간(평균에서  $\pm 1.96$  표준편차 이내)은  $-3.810 \sim 2.810$ 였고, Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압과 GAT 안압 사이의 95% 신뢰구간은  $-4.905 \sim 2.805$ 였다(Fig. 2). 급내상관계수는 GAT 안압과 Icare Pro<sup>®</sup> 안압 사이에서

$0.934$  ( $p<0.001$ ), GAT 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서  $0.908$  ( $p<0.001$ ), 그리고 Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 TonoPen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서  $0.865$  ( $p<0.001$ )였다. 각각의 95% 신뢰구간은  $0.921 \sim 0.945$ ,  $0.889 \sim 0.923$ , 그리고  $0.838 \sim 0.887$ 이었다.

또한 상관분석에서도 GAT 안압과 Icare Pro<sup>®</sup> 안압 사이에서  $R=0.876$  ( $p<0.001$ ), GAT 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서  $R=0.831$  ( $p<0.001$ ), Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서  $R=0.762$  ( $p<0.001$ )의 높은 상관관계를 보였다(Fig. 3).

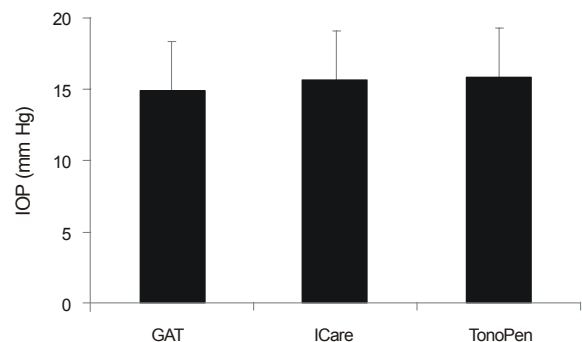
각각의 안압계로 측정한 안압의 불일치 정도를 분석하기 위해 안압 차이의 절대값의 분포를 분석하였다. 1 mmHg 이하인 경우가 Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 GAT 안압 사이에서는 61.12%, GAT 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서는 54.86%, Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서는 48.60%로 가장 많은 분포를 나타내었다. 안압 차이가

**Table 1.** Subject characteristics

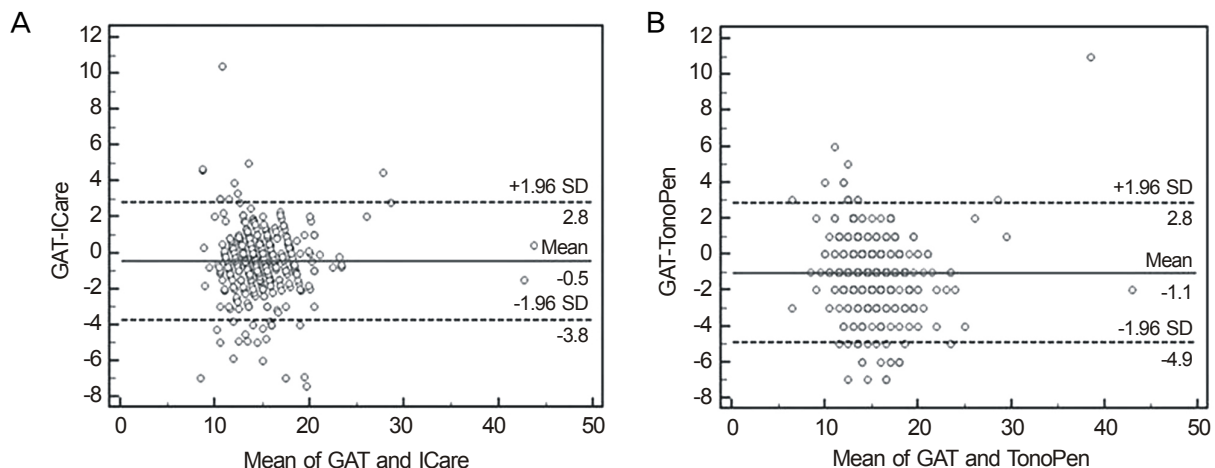
Age (Years)	54.1 $\pm$ 18.5
Range	20 to 81
Sex (Male : Female)	260 : 203
Diagnosis (number)	463
Normal tension glaucoma	98
Primary open angle glaucoma	86
Normal	279
Systemic disease (Number)	
DM	125
HTN	118
Spherical equivalent (D)	-3.5 $\pm$ 3.1
IOP (mm Hg)	
GAT	14.65 $\pm$ 3.36
Icare Pro <sup>®</sup> rebound tonometer	15.14 $\pm$ 3.38
Tonopen AVIA <sup>®</sup> applanation tonometer	15.71 $\pm$ 3.45
Central corneal thickness ( $\mu$ m)	543.1 $\pm$ 35.3
Range	450 to 629
Axial length (mm)	23.8 $\pm$ 2.2
Range	21.4 to 30.8

Values are presented as mean  $\pm$  SD.

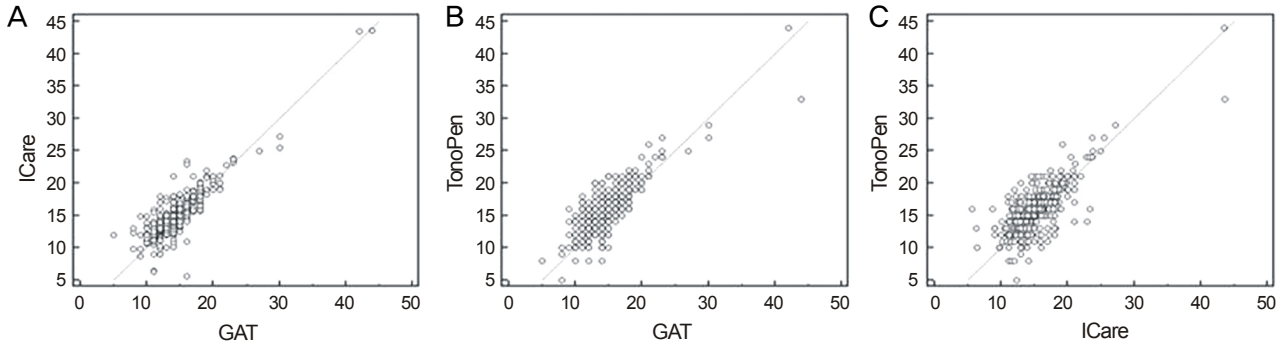
IOP = intraocular pressure; GAT = goldmann applanation tonometer.



**Figure 1.** Analysis of variance between mean intraocular pressure values measured by different tonometers. GAT = goldmann applanation tonometer; ICare = Icare Pro<sup>®</sup> rebound tonometer; TonoPen = TonoPen AVIA<sup>®</sup> applanation tonometer.



**Figure 2.** Bland-Altman plots between different tonometers. The solid line indicates mean difference of both tonometers. The dotted lines are 95% of limits of agreement. (A) GAT and ICare. (B) GAT and TonoPen. GAT = goldmann applanation tonometer; ICare = Icare Pro<sup>®</sup> rebound tonometer; TonoPen = TonoPen AVIA<sup>®</sup> applanation tonometer; SD = standard deviation.



**Figure 3.** Scatterplots and regression lines between different tonometers. (A) GAT and Icare. (B) GAT and TonoPen. (C) Icare and TonoPen. GAT = goldmann applanation tonometer; Icare = Icare Pro® rebound tonometer; TonoPen = TonoPen AVIA® applanation tonometer.

**Table 2.** Distribution of differences between IOP measurements by Goldmann applanation tonometer, Icare Pro® rebound tonometer and TonoPen AVIA® applanation tonometer

Differences	IOP <sub>GAT</sub> - IOP <sub>Icare Pro®</sub>	IOP <sub>GAT</sub> - IOP <sub>TonoPen AVIA®</sub>	IOP <sub>Icare Pro®</sub> - IOP <sub>TonoPen AVIA®</sub>
≤1.0	61.12 (283)	54.86 (254)	48.60 (225)
1.0-2.0	24.19 (112)	25.05 (116)	22.68 (105)
2.0-3.0	7.78 (36)	9.72 (45)	12.53 (58)
3.0-4.0	2.81 (13)	4.75 (22)	6.70 (31)
4.0-5.0	2.59 (12)	2.59 (12)	3.46 (16)
≥5.0	1.51 (7)	3.02 (14)	6.05 (28)

Data are expressed as % (numbers).

IOP = intraocular pressure; IOP<sub>GAT</sub> = IOP by goldmann applanation tonometer; IOP<sub>IcarePro®</sub> = IOP by Icare Pro® rebound tonometer; IOP<sub>TonoPen AVIA®</sub> = IOP by TonoPen AVIA® applanation tonometer.

**Table 3.** Correlations between central corneal thickness and IOP measured by tonometers

	R	p-value
IOP <sub>GAT</sub>	0.255	0.001
IOP <sub>Icare Pro®</sub>	0.236	0.007
IOP <sub>TonoPen AVIA®</sub>	0.201	0.028

Pearson's correlation analysis for coefficient correlation analysis. IOP = intraocular pressure; IOP<sub>GAT</sub> = IOP by goldmann applanation tonometer; IOP<sub>IcarePro®</sub> = IOP by Icare Pro® rebound tonometer; IOP<sub>TonoPen AVIA®</sub> = IOP by TonoPen AVIA® applanation tonometer.

4 mmHg 이상인 경우는 Icare Pro® 안압과 GAT 안압 사이에서 4.1%, GAT 안압과 Tonopen AVIA® 안압 사이에서는 5.61%, Icare Pro® 안압과 Tonopen AVIA® 안압 사이에서는 9.51%였다(Table 2).

각각의 안압계로 측정된 안압과 중심각막두께와의 연관성을 분석하기 위해 Pearson 상관분석에서는 모두 통계학적으로 유의한 양의 상관관계를 보였으며, GAT 안압은  $R=0.255$  ( $p=0.001$ ), Icare Pro® 안압은  $R=0.236$  ( $p=0.007$ ), Tonopen AVIA® 안압은  $R=0.201$  ( $p=0.028$ )이었다(Table 3).

Icare Pro® 안압과 GAT 안압 사이, 그리고 GAT 안압과 Tonopen AVIA® 안압 사이의 안압 측정치 간의 일치도에

**Table 4.** Simple linear regression analysis of factors affecting IOP disagreement between tonometers

	R <sup>2</sup>	p-value
IOP <sub>Icare Pro®</sub> - IOP <sub>GAT</sub>		
Age	0.510	0.037
Spherical equivalent	0.001	0.662
IOP <sub>GAT</sub> value	0.016	0.597
Central corneal thickness	0.621	0.023
Axial length	0.011	0.309
IOP <sub>TonoPen AVIA®</sub> - IOP <sub>GAT</sub>		
Age	0.380	0.045
Spherical equivalent	0.000	0.838
IOP <sub>GAT</sub> value	0.000	0.962
Central corneal thickness	0.459	0.041
Axial length	0.007	0.317

R<sup>2</sup> = coefficient of determination; IOP = intraocular pressure; IOP<sub>GAT</sub> = IOP by goldmann applanation tonometer; IOP<sub>IcarePro®</sub> = IOP by Icare Pro® rebound tonometer; IOP<sub>TonoPen AVIA®</sub> = IOP by TonoPen AVIA® applanation tonometer.

영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 선형회귀분석을 시행하였다. 단순회귀분석을 이용하여 연령, 구면 대응치, GAT 안압, 중심각막두께 및 안축장 길이를 각각 분석한 결과, 연령과 중심각막두께가 Icare Pro® 안압과 GAT 안압 사이, 그리고 GAT 안압과 Tonopen AVIA® 안압 사이에서 모두

**Table 5.** Multiple regression analysis of factors affecting IOP disagreement between tonometers

	Unstandardized Coefficient $\beta$	Partial correlation coefficient	p-value	95% CI
IOP <sub>Icare Pro</sub> <sup>®</sup> - IOP <sub>GAT</sub>				
Age	-0.039	-0.263	0.041	-0.058 to -0.02
Central corneal thickness	0.020	0.305	0.019	0.008 to 0.032
IOP <sub>TonoPen AVIA</sub> <sup>®</sup> - IOP <sub>GAT</sub>				
Age	-0.028	-0.155	0.049	-0.041 to -0.015
Central corneal thickness	0.015	0.271	0.035	0.004 to 0.26

IOP = intraocular pressure; IOP<sub>GAT</sub> = IOP by goldmann applanation tonometer; IOP<sub>IcarePro</sub><sup>®</sup> = IOP by Icare Pro<sup>®</sup> rebound tonometer; IOP<sub>TonoPen AVIA</sub><sup>®</sup> = IOP by TonoPen AVIA<sup>®</sup> applanation tonometer.

통계적으로 유의한 인자로 나타났다(Table 4). 연령과 중심각막두께에 대해 다중 선형회귀분석을 시행한 결과에서도 두 인자 모두 통계학적으로 유의하게 안압 측정치 사이의 일치도에 영향을 주는 것으로 나타났다. Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 GAT 안압 사이에서 연령과 중심각막두께의 Unstandardized Coefficient  $\beta$ 는 각각 -0.039, 0.020이었고, GAT 안압과 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압 사이에서 각각 -0.028, 0.015였다(Table 5).

## 고 찰

현재까지 가장 정확하고, 임상에서 많이 이용되는 안압계는 GAT이다. 하지만 세극등 현미경을 통해서만 측정이 가능하다는 단점이 있으며, 압평안압계의 원리 상 각막의 일정 면적을 편평하게 만드는데 필요한 압력을 측정하게 되므로 각막질환이 있는 경우나 중심각막두께, 각막의 생역학적 특성, 각막곡률, tear film 및 굴절교정수술 유무 등에 따라 오류가 발생할 수 있다. 특히 중심각막두께와 GAT 안압 사이에는 양의 상관관계가 있으며, 중심각막두께가 520  $\mu$ m일 때의 GAT 안압이 실제의 전방내 안압을 정확하게 반영한다는 연구 결과들이 있었다.<sup>18-20</sup> GAT와는 달리 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계와 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계는 휴대가 가능하며, 거동이 불편하여 앓기 힘든 환자들에게도 사용할 수 있다. 또한 두 안압계 모두 탐침이 각막에 닿는 면적이 GAT보다 작아 원추각막, 불규칙한 각막 표면 등의 각막질환에서 유용할 수 있다. 하지만 GAT와 마찬가지로 중심각막두께, 각막이력현상(corneal hysteresis) 및 각막저항인자(corneal resistance factor) 등의 각막의 생역학적 특성에 영향을 받는다고 알려졌다. 여러 연구에서 Icare<sup>®</sup> rebound 안압계와 Tonopen<sup>®</sup> 압평안압계로 안압 측정 시 중심각막두께가 두꺼울수록 안압이 높게 측정된다는 연구들이 있었다.<sup>14,21-24</sup> 하지만 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계와 중심각막두께와의 연관성을 보고한 연구는 없었으며, Tonopen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계와 중심각막두께와의 연관성을 보고한 연구 또한 많지 않다.<sup>25</sup> 본 연구에서 세 가지 안압계로 측정

한 안압 모두 중심각막두께가 두꺼울수록 안압이 높게 측정되었다. 따라서 GAT와 마찬가지로 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계와 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계를 이용하여 안압을 측정할 때에도 중심각막두께를 고려해야 할 것으로 생각된다.

많은 연구에서 rebound 안압계로 측정한 안압은 GAT 안압과 서로 높은 상관관계가 있었다고 보고하였으며,<sup>14,23,24,26,27</sup> 최근 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계를 이용한 연구들에서도 GAT 안압과 유사한 값을 보였다고 보고하였다.<sup>17,28</sup> 본 연구에서도 Icare Pro<sup>®</sup> 안압은 GAT 안압과 유사한 값을 보였으며, 평균 0.49 mmHg 정도의 높은 값을 보였으나 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않았다( $p=0.307$ ). GAT 안압과의 급내상관계수는 0.934 ( $p<0.001$ )였고, Pearson 상관분석은  $R=0.876$  ( $p<0.001$ )이었으며, Bland-Altman plot 결과에서도 높은 동등성을 보였다.

또한 Tonopen 압평안압계로 측정한 안압도 GAT 안압과의 상관관계를 보이는 것으로 알려졌다. 하지만 측정치의 변이도가 심하다는 단점이 있으며, 안압이 높은 범위에서는 GAT로 측정한 안압보다 낮게 측정되고, 안압이 낮은 범위에서는 높게 측정된다는 연구들이 있었다.<sup>10,11,29</sup> 본 연구에서 GAT 안압과 비교하였을 때 평균 1.06 mmHg 정도의 높은 값을 보였으나 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않았다( $p=0.114$ ). GAT 안압과의 급내상관계수는 0.908 ( $p<0.001$ )이었고, Pearson 상관분석은  $R=0.831$  ( $p<0.001$ )이었으며, Bland-Altman plot 결과에서도 높은 동등성을 보였다. 하지만 Icare Pro<sup>®</sup> 안압과 비교하였을 때 GAT 안압과의 일치도는 더 낮음을 알 수 있었다.

본 연구에서 다중회귀분석 상 안압 측정치 사이의 일치도에 영향을 줄 수 있는 인자는 중심각막두께와 연령이었다. 중심각막두께가 10  $\mu$ m 두꺼워지면 Icare Pro<sup>®</sup> 안압에서 GAT 안압을 뺀 수치의 절대값은 0.20 mmHg 증가하고, Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압에서 GAT 안압을 뺀 수치의 절대값은 0.15 mmHg 증가함을 알 수 있었다. 이는 중심각막두께가 두꺼울수록 골드만 안압과의 차이가 증가한다는 기존의 연구들과 일치하는 결과로, Icare Pro<sup>®</sup> 및 Tonopen AVIA<sup>®</sup>

**Table 6.** Comparison of mean IOP disagreements between normal IOP range group and high or low IOP group by Goldmann applanation tonometer

	10 < IOP <sub>GAT</sub> ≤ 21	IOP <sub>GAT</sub> ≤ 10 or IOP <sub>GAT</sub> > 21	p-value
Mean  IOP <sub>Icare Pro</sub> <sup>®</sup> - IOP <sub>GAT</sub>	1.11 ± 1.21	2.10 ± 1.73	0.002
Mean  IOP <sub>TonoPen AVIA</sub> <sup>®</sup> - IOP <sub>GAT</sub>	1.68 ± 1.64	2.24 ± 2.39	0.049
Mean  IOP <sub>TonoPen AVIA</sub> <sup>®</sup> - IOP <sub>Icare Pro</sub> <sup>®</sup>	1.62 ± 1.39	2.44 ± 2.20	0.034

Values are presented as mean ± SD.

IOP = intraocular pressure; IOP<sub>GAT</sub> = IOP by goldmann applanation tonometer; IOP<sub>IcarePro</sub><sup>®</sup> = IOP by Icare Pro<sup>®</sup> rebound tonometer; IOP<sub>TonoPen AVIA</sub><sup>®</sup> = IOP by TonoPen AVIA<sup>®</sup> applanation tonometer.

로 안압을 측정할 경우에 중심각막두께를 고려해야 할 것이다.<sup>24,27,30-34</sup>

또한 연령이 10년 증가하면 ICare Pro<sup>®</sup> 안압에서 GAT 안압을 뺀 수치의 절대값은 0.39 mmHg 감소하고, Tonopen AVIA<sup>®</sup> 안압에서 GAT 안압을 뺀 수치의 절대값은 0.28 mmHg 감소함을 알 수 있었다. 연령이 증가할수록 각막 기질의 콜라겐 섬유의 변화로 각막의 탄력성은 감소하고, 주변부 각막이 얇아진다고 알려졌다. 따라서 이러한 각막의 변화가 각막이력현상 및 각막저항인자 등의 각막의 생역학적 특성에 영향을 끼쳤을 것으로 여겨지며, GAT와 비교하였을 때 ICare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계와 Tonopen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계 모두 각막에 닿는 면적이 더 작기 때문에 연령에 따라 측정된 안압의 차이가 다를 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 연령에 따른 각막이력현상이나 각막저항인자의 변화 정도와 안압 측정의 차이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서 안압은 다중회귀분석 상 유의한 인자로 분석되지는 않았지만, 다수의 연구에서 안압이 GAT안압과의 일치도에 영향을 끼칠 수 있음을 보고하였다.<sup>21,28,34</sup> GAT 안압을 기준으로 하여 정상안압군(10 mmHg<안압<21 mmHg)과 비정상안압군(안압≤10 mmHg 혹은 안압>21 mmHg)으로 나누어 분석했을 때, 정상안압군에 비해 비정상안압군에서 통계학적으로 유의하게 측정기기 사이의 안압 차이가 컸음을 알 수 있었다(Table 6). 따라서, 안압이 정상범위를 벗어나는 경우 또한 측정기기 간의 안압의 차이가 더 클 수 있음을 고려해야 할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 첫째, 각막이력현상이나 각막저항인자 등 각막의 생역학적 특성을 평가하지 못하였다는 점이다. 여러 연구에서 리바운드 안압계로 측정된 안압은 각막이력현상이나 각막저항인자에 영향을 받는다는 결과가 있어, 이에 대한 추가 연구가 있어야 될 것으로 생각된다.<sup>35,36</sup> 둘째, 정상 안압을 벗어난 안압을 가진 환자의 수가 적다는 점이다. 본 연구에 참여한 정상안압 녹내장과 원발성개방각 녹내장 환자들에서 치료 중인 환자들 다수 포함되어 정상 안압 범위에 포함된 경우가 많았다. 마지막으로, 안압 하강제 점안 치료 유무에 따른 분석을 시행하지 못한 점이다.

프로스타글란딘 제제 등을 점안 시 섬모체근의 세포외 기질을 변화시키고, 각막의 생역학적 특성에 영향을 미칠 수 있다고 알려졌다.<sup>37,38</sup> 추후 이러한 점을 보완한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 휴대 가능한 안압측정 기기인 Icare Pro<sup>®</sup> rebound 안압계와 TonoPen AVIA<sup>®</sup> 압평안압계로 안압을 측정할 경우 GAT와 비교하였을 때 전반적으로 높게 측정되었으나 유사한 값을 보였으며, 서로 높은 상관관계가 있어 GAT로 안압 측정이 불가능한 환자에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 중심각막두께가 증가할수록 또는 연령이 감소할수록 골드만 안압과의 차이가 증가할 수 있음을 고려하여야 하며, 안압이 정상안압의 범위를 크게 벗어나는 경우에도 GAT 안압과의 차이가 더 클 수 있음을 생각해야 할 것이다.

## 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) The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): 7. The relationship between control of intraocular pressure and visual field deterioration. The AGIS Investigators. Am J Ophthalmol 2000; 130:429-40.
- 3) Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. Arch Ophthalmol 2002;120:701-13; discussion 829-30.
- 4) Leske MC, Heijl A, Hyman L, et al; EMGT Group. Predictors of long-term progression in the early manifest glaucoma trial. Ophthalmology 2007;114:1965-72.
- 5) Kontiola A. A new electromechanical method for measuring intraocular pressure. Doc Ophthalmol 1996-1997;93:265-76.
- 6) Kanngiesser HE, Kniestedt C, Robert YC. Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. J Glaucoma 2005;14: 344-50.
- 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) Iliev ME, Goldblum D, Katsoulis K, et al. Comparison of rebound

- tonometry with Goldmann applanation tonometry and correlation with central corneal thickness. *Br J Ophthalmol* 2006;90:833-5.
- 9) Cook JA, Botello AP, Elders A, et al; Surveillance of Ocular Hypertension Study Group. Systematic review of the agreement of tonometers with Goldmann applanation tonometry. *Ophthalmology* 2012;119:1552-7.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) Frenkel RE, Hong YJ, Shin DH. Comparison of the Tono-Pen to the Goldmann applanation tonometer. *Arch Ophthalmol* 1988;106:750-3.
- 13) Iester M, Mermoud A, Achache F, Roy S. New Tonopen XL: comparison with the Goldmann tonometer. *Eye (Lond)* 2001;15(Pt 1):52-8.
- 14) Brusini P, Salvat ML, Zeppieri M, et al. Comparison of ICare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. *J Glaucoma* 2006;15:213-7.
- 15) 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.
- 16) Danias J, Kontiola AI, Filippopoulos T, Mittag T. Method for the noninvasive measurement of intraocular pressure in mice. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44:1138-41.
- 17) Jablonski KS, Rosentreter A, Gaki S, et al. Clinical use of a new position-independent rebound tonometer. *J Glaucoma* 2013;22:763-7.
- 18) Ehlers N, Hansen FK, Aasved H. Biometric correlations of corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1975;53:652-9.
- 19) Whitacre MM, Stein R. Sources of error with use of Goldmann-type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993;38:1-30.
- 20) Chihara E. Assessment of true intraocular pressure: the gap between theory and practical data. *Surv Ophthalmol* 2008;53:203-18.
- 21) Pakrou N, Gray T, Mills R, et al. Clinical comparison of the Icare tonometer and Goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma* 2008;17:43-7.
- 22) 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.
- 23) Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Vico E, et al. Effect of corneal thickness on dynamic contour, rebound, and goldmann tonometry. *Ophthalmology* 2006;113:2156-62.
- 24) Halkiadakis I, Stratos A, Stergiopoulos G, et al. Evaluation of the Icare-ONE rebound tonometer as a self-measuring intraocular pressure device in normal subjects. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2012;250:1207-11.
- 25) 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.
- 26) Rosentreter A, Jablonski KS, Mellein AC, et al. A new rebound tonometer for home monitoring of intraocular pressure. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011;249:1713-9.
- 27) Sakamoto M, Kanamori A, Fujihara M, et al. Assessment of IcareONE rebound tonometer for self-measuring intraocular pressure. *Acta Ophthalmol* 2013.
- 28) Kim KN, Jeoung JW, Park KH, et al. Comparison of the new rebound tonometer with Goldmann applanation tonometer in a clinical setting. *Acta Ophthalmol* 2013;91:e392-6.
- 29) Hessemmer V, Rössler R, Jacobi KW. [Tono-pen, a new position-independent tonometer. Comparison with the Goldmann tonometer by applanation measurement]. *Klin Monbl Augenheilkd* 1988;193:420-6.
- 30) Rao A, Kumar M, B P, Varshney G. Relationship of central corneal thickness and intraocular pressure by iCare rebound tonometer. *J Glaucoma* 2012.
- 31) Dohadwala AA, Munger R, Damji KF. Positive correlation between Tono-Pen intraocular pressure and central corneal thickness. *Ophthalmology* 1998;105:1849-54.
- 32) Mok KH, Wong CS, Lee VW. Tono-Pen tonometer and corneal thickness. *Eye (Lond)* 1999;13(Pt 1):35-7.
- 33) Bhan A, Browning AC, Shah S, et al. Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldmann applanation tonometer, and Tono-Pen. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:1389-92.
- 34) Kim NR, Kim CY, Kim H, et al. Comparison of goldmann applanation tonometer, noncontact tonometer, and TonoPen XL for intraocular pressure measurement in different types of glaucomatous, ocular hypertensive, and normal eyes. *Curr Eye Res* 2011;36:295-300.
- 35) Jorge JM, González-Méijome 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.
- 36) Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. *Ophthalmology* 2008;115:80-4.
- 37) Weinreb RN, Toris CB, Gabelt BT, et al. Effects of prostaglandins on the aqueous humor outflow pathways. *Surv Ophthalmol* 2002;47 Suppl 1:S53-64.
- 38) Harasymowycz PJ, Papamatheakis DG, Ennis M, et al; Travoprost Central Corneal Thickness Study Group. Relationship between travoprost and central corneal thickness in ocular hypertension and open-angle glaucoma. *Cornea* 2007;26:34-41.

=ABSTRACT=

## Comparison of Portable Tonometers and Goldmann Applanation Tonometer for Intraocular Pressure Measurement

Hyun Ho Jung, MD, Jung Won Park, MD, Sang Woo Park, MD, PhD

*Department of Ophthalmology, Chonnam National University Medical School, Gwang, Korea*

**Purpose:** To compare the intraocular pressure (IOP) measured by portable rebound tonometer and TonoPen applanation tonometer with pressure measured by Goldmann applanation tonometer (GAT) and analyze the factors affecting IOP disagreement between tonometers.

**Methods:** In a prospective study of 463 eyes, IOP was measured with Icare Pro<sup>®</sup> rebound tonometer, TonoPen AVIA<sup>®</sup> applanation tonometer, and GAT. Bland-Altman plot, intraclass correlation coefficient, Pearson's correlation analysis, and multiple regression analysis were performed to evaluate the agreement of IOP measured by each tonometer and the factors affecting the measurements.

**Results:** The IOP values measured by Icare Pro<sup>®</sup> and TonoPen AVIA<sup>®</sup> were consistently higher than those measured by GAT, but showed no significant differences with those measured by GAT ( $p = 0.307$  and  $0.114$ , respectively). In Bland-Altman plot, the IOP values measured by Icare Pro<sup>®</sup> and TonoPen AVIA<sup>®</sup> exhibited excellent agreement with those measured by GAT. Both Icare Pro<sup>®</sup>/GAT and TonoPen AVIA<sup>®</sup>/GAT differences increased with younger age ( $p = 0.041$  and  $0.049$ , respectively) and higher central corneal thickness ( $p = 0.019$  and  $0.035$ , respectively).

**Conclusions:** IOPs measured by portable Icare Pro<sup>®</sup> rebound tonometer and TonoPen AVIA<sup>®</sup> applanation tonometer were significantly correlated with IOP measured by GAT. Therefore, such instruments can be useful when measuring IOP with GAT is difficult. However, central corneal thickness and age should be considered when measuring IOP with portable tonometers.

J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(1):102-109

**Key Words:** Goldmann applanation tonometer, Icare Pro<sup>®</sup> rebound tonometer, Intraocular pressure, TonoPen<sup>®</sup>

---

Address reprint requests to **Sang Woo Park, MD, PhD**  
Department of Ophthalmology, Chonnam National University Hospital  
#42 Jebong-ro, Dong-gu, Gwangju 501-757, Korea  
Tel: 82-62-220-6742, Fax: 82-62-227-1642, E-mail: exo70@naver.com