대한안과학회지 2023년 제 64 권 제 5 호
J Korean Ophthalmol Soc 2023;64(5):416-422
ISSN 0378-6471 (Print) · ISSN 2092-9374 (Online)
https://doi.org/10.3341/jkos.2023.64.5.416

Original Article

골드만안압계와의 안압 비교를 통한 토노아이안압계의 임상적 유용성 확인

Reliability of the Non-contact TONO-i Tonometer Compared with the Goldmann Applanation Tonometer

김지호 · 한종철
Ji Ho Kim, MD, Jong Chul Han, MD, PhD

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 안과학교실
Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, University of Sungkyunkwan School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: The accuracy and agreement of intraocular pressure (IOP) measurements using a noncontact self-measuring tonometer, TONO-i, compared with the Goldmann applanation tonometer (GAT).
Methods: A total of 35 healthy participants and 42 primary open angle or normal tension glaucoma patients were enrolled in this study. TONO-i and GAT measurements were obtained and the mean difference in IOPs was analyzed using a paired *t*-test. IOP agreement was calculated using the two-way random effects model. Bland-Altman analysis and simple linear regression were used to estimate the disagreement between IOP measurements.
Results: The mean IOPs measured using the TONO-i and GAT were 15.9 ± 3.3 mmHg and 16.4 ± 5.1 mmHg, respectively. In glaucoma patients, the mean values measured using the TONO-i (16.7 ± 4.1 mmHg) were lower than those measured using the GAT (17.9 ± 6.1 mmHg; $p < 0.001$). However, there was no significant difference among the healthy participants ($p = 0.273$). The intraclass coefficients (95% confidence interval) for all participants, normal participants, and glaucoma patients were 0.847 (0.702-0.920), 0.882 (0.804-0.941), and 0.828 (0.742-0.887), respectively, indicating good agreement between the IOP measurements. The mean difference and limits of agreement were not statistically significant. As IOP increased, the absolute difference between the GAT and TONO-i measurements also increased.
Conclusions: The TONO-i, a novel tonometer, may be used reliably for IOP self-measurement and detecting IOP elevations. However, caution must be exercised because of the possibility of underestimating high IOPs.
J Korean Ophthalmol Soc 2023;64(5):416-422

Keywords: Intraocular pressure, TONOI tonometer, Tonometry

안압은 녹내장 발생 및 진행의 주요 인자로 알려져 있다.[1,2] 안압을 정확히 측정하는 것은 녹내장 환자를 평가하고 치료 계획을 수립하는 데 있어 필수적이라고 할 수 있다. 안압을 측정하는 방식은 여러 가지가 있으나, 현재로서는 골드만압평안압계(Goldmann applanation tonometer)가 가장 정확한(gold standard) 안압측정계로 알려져 있으며, 임상적으로도 많이 사용되고 있다.[3,4] 하지만 골드만압평안압계는 세극등현미경을 통해 앉은 자세에서만 측정이 가능하므로, 세극등현미경이 구비된 안과검사실에서만 측정할 수 있다는 한계점이 있다. 최근 새로 개발된 토노아이안압

■ **Received:** 2022. 5. 16. ■ **Revised:** 2022. 7. 12.
■ **Accepted:** 2023. 4. 17.
■ Address reprint requests to **Han Jong Chul, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, #81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 06351, Korea
Tel: 82-2-3410-3568, Fax: 82-2-3410-0074
E-mail: heartmedic79@gmail.com

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

ⓒ *2023 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.

계(TONOI®, Cnvtech Co., Wonju, Korea)는 휴대가 가능한 비접촉식 안압계로 녹내장 환자들이 집에서도 스스로의 안압을 자가측정할 수 있게 되었다. 토노아이는 비접촉식 안압계로, 각막 중심부에 공기를 분사하여 압평한 뒤 공기 분사 전후의 적외선 신호 변화를 바탕으로 안압을 측정하는 공압식 원리를 사용하였다. 또한 안압계와 안구가 올바른 위치 및 거리에 정렬되었는지 적외선으로 측정하여 그 거리에 따라 서로 다른 색깔로 나타낼 수 있는 기능을 가졌다. 정렬 여부를 색깔을 통해 알 수 있기 때문에 일반인들도 스스로 올바른 정렬 위치만 측정 거리에 맞게 안압계를 위치시켜 전문가의 도움 없이도 안압을 정확하게 측정할 수 있도록 하였다(Fig. 1).

토노아이안압계에 대해 골드만압평안압계와 비교한 연구가 없었기에, 한국인 정상안 및 녹내장안을 대상으로 하여 토노아이안압계 안압과 골드만압평안압계 안압을 비교하고, 두 안압계 측정값의 차이 경향성을 분석하여 토노아이안압계의 임상적 유용성을 확인하고자 하였다.

대상과 방법

2021년 9월부터 2022년 7월까지 본원 외래에 내원한 녹내장 환자(정상안압녹내장, 원발개방각녹내장) 및 정상 대조군을 대상으로 한 전향적 연구를 시행하였다. 본 연구는 헬싱키선언을 준수하였으며 본원의 임상시험심사위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심사 및 승인을 받았다(승인 번호: 2020-09-215). 원발개방각녹내장의 진단은 녹내장 약물 치료 시작 전 초기 안압이 21 mmHg보다 높으며, 전방각경검사상 개방각을 보이며 녹내장성 시신경유두손상과 이에 상응하는 시야결손이 관찰되고 녹내장 이외의 시신경 손상을 일으킬 만한 원인 질환이 없는 경우로 정의하였다. 정상안압녹내장의 진단은 녹내장 약물 치료 시작 전 초기 안압이 21 mmHg 이하이고, 전방각경검사상 개방각을 보이며 녹내장성 시신경유두손상과 이에 상응하는 시야결손이 관찰되고 녹내장 이외의 시신경 손상을 일으킬 만한 원인 질환이 없는 경우로 정의하였다. 또한 정상 대조군은 안압이 21 mmHg 이하이며, 녹내장성 시신경유두손상이나 시야결손이 없는 경우로 정의하였다. 3.5 diopters (D) 이상의 각막난시를 가진 자, 2주 이내 콘택트렌즈를 착용한 자, 외상력이 있는 자, 각막이식수술력이 있는 자는 제외되었다. 최종적으로 정상 대조군 35명, 녹내장 환자군 42명이 연구에 참여하였다. 정상 대조군은 모두 우안, 녹내장 환자군은 본 연구에서 정의한 기준에 부합하는 쪽 눈을 대상으로 안압을 측정하였으며 양안 모두 기준에 부합할 경우 우안을 대상으로 하였다.

Figure 1. Self-intraocular pressure check using Tono-i tonometer. Different colors are shown according to distance between central cornea and Tono-I tonometer (> 6.5 mm: blue, 5.5-6.5 mm: green, < 5.5 mm: red). Also, the distance is displayed on monitoring board of Tono-i tonometer.

토노아이안압계는 검사자에 의해 사용법을 교육받은 뒤 대상자가 직접 자가측정하였으며, 골드만압평안압계는 한 명의 숙련된 검사자에 의해 측정되었다. 먼저 토노아이안압계로 안압을 측정하였으며, 이후 골드만압평안압계로 안압을 측정하였다. 각 측정계 사이에 최소한 5분의 시간 간격을 두었다. 토노아이안압계는 검사 대상자에게 정면의 일정한 거리를 주시하게 한 후, 안압계의 노즐부 중심과 검사 대상자의 안구 중앙부가 수평을 유지하면서 최대한 일치하도록 하였다. 이후 안압계의 상부 및 하부 지지대 길이를 조절하여 중심각막에서 6 mm 떨어진 거리에서 안압을 측정하였으며, 같은 과정을 3회씩 반복하여 안압을 측정하였다. 환자가 눈을 감아 검사가 제대로 되지 않거나 기계 측정값이 오류로 표시된 경우는 제외하였다. 이후 골드만압평안압계로 안압을 3회씩 반복 측정하였다. 각 측정마다 최소 1분의 시간 간격을 두었으며 3회 측정 평균치를 유효성 평가를 위한 결과값으로 사용하였다.

두 종류의 안압계로 측정된 안압 평균치를 paired *t*-test를 이용하여 비교하였고, two-way random effects model을 사용하여 급내상관계수를 평가하였다. 두 안압계의 일치도 경향을 구체적으로 평가하기 위해 Bland-Altman analysis 및 다중회귀분석을 이용하였다. SAS version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 유의수준은 $p<0.05$인 경우 통계학적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결 과

총 77명의 연령은 22세부터 79세까지 평균 54.4 ± 16.2세였고, 남자는 34명, 여자는 43명이었다. 중심각막두께는 평균 532.5 ± 42.0 μm였다. 대상안의 안압은 토노아이안압계로 측정한 경우가 15.9 ± 3.3 mmHg였고, 골드만압평안압계로 측정한 경우가 16.4 ± 5.1 mmHg였다.

녹내장 환자군 및 정상 대조군에서 토노아이안압계와 골드만압평안압계의 측정값의 평균 차이를 비교하기 위한 paired *t*-test를 시행하였다. 정상 대조군에서는 두 안압계 측정값 평균 차이가 유의하지 않았으나(p=0.273), 녹내장 환자군에서는 토노아이안압계 측정값이 골드만압평안압계 측정값보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다(p<0.001). 녹내장 환자군 중 골드만압평안압계 측정값이 21 mmHg 이하로 측정된 군에서는 두 안압계 측정값 평균 차이는 유의하지 않았다(p=0.126) (Table 1).

급내상관계수는 전체 대상군 기준 0.847 (95% 신뢰구간 0.702-0.920), 정상 대조군 기준 0.882 (0.804-0.941)로 높은 일치도를 가지며, 녹내장 환자군을 기준으로 하였을 때에도 0.828 (95% 신뢰구간 0.742-0.887)로 높은 일치도를 보였다(Table 2, Fig. 2).

또한 토노아이안압계로 측정한 안압을 대조 측정치(골드만압평안압계 안압)와 비교하여 일치도 양상을 평가하기 위해 Bland-Altman plot을 시행하였다(Fig. 3). 토노아이안압계와 골드만압평안압계 안압 차이의 평균값은 -0.5 mmHg였다. 토노아이안압계의 95% limits of agreement (LoA)은 대조 기기(골드만압평안압계)와 비교하여 전체 대상군 기준 upper LoA = 4.4 mmHg, lower LoA = -5.4 mmHg, 정상 대조군 기준 upper LoA = 4.2 mmHg, lower LoA = -3.5 mmHg, 녹내장 환자군 기준 upper LoA = 4.1 mmHg, lower LoA = -6.5 mmHg로 나타났다(Table 3, Fig. 3).

Table 2. ICC for each participant group

Participant group	ICC
Overall (n=77)	0.847 (0.702-0.920)
Normal (n=35)	0.882 (0.804-0.941)
Glaucoma (n=42)	0.828 (0.742-0.887)

We suggest that ICC values less than 0.5 are indicative of poor reliability, values between 0.5 and 0.75 indicate moderate reliability, values between 0.75 and 0.9 indicate good reliability, and values greater than 0.90 indicate excellent reliability.
ICC = interclass correlation coefficients.

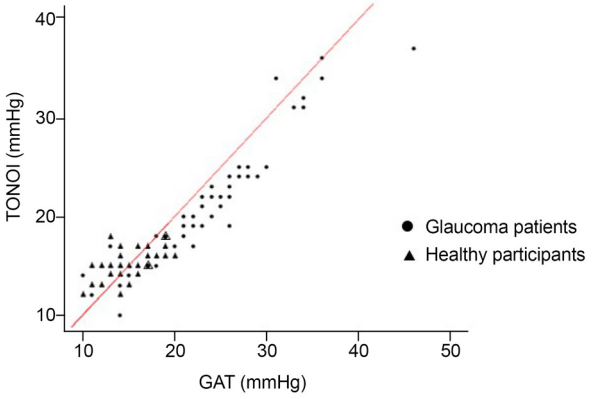

Figure 2. Scatter plot graph of TONOI IOP and GAT IOP. TONOI = Tono-i tonomtery; GAT = Goldmann applanation tonometry; IOP = intraocular pressure.

Table 1. Mean measured IOP values of two different tonometers and *p*-value for each participant group

	Mean IOP value	*p*-value
Overall (n=77)		
GAT	16.4 ± 5.1 mmHg	0.097
TONO	15.9 ± 3.3 mmHg	
Normal (n=35)		
GAT	14.6 ± 2.7 mmHg	0.273
TONO	15.0 ± 1.7 mmHg	
Glaucoma (n=42)		
GAT	17.9 ± 6.1 mmHg	<0.001
TONO	16.7 ± 4.1 mmHg	
Glaucoma (IOP ≤21 mmHg, n=14)		
GAT	16.5 ± 3.1 mmHg	0.126
TONO	16.1 ± 2.1 mmHg	

IOP = intraocular pressure; GAT = Goldmann applanation tonometry; TONOI = Tono-i tonometry.

골드만압평안압계 안압이 21-25 mmHg로 측정된 녹내장 환자군에서 토노아이안압계 안압이 20 미만으로 측정된 대상의 비율이 35%로, 해당 안압 범위에서는 토노아이안압계 측정값이 다소 낮게 나타나는 경향을 보였다(Table 4).

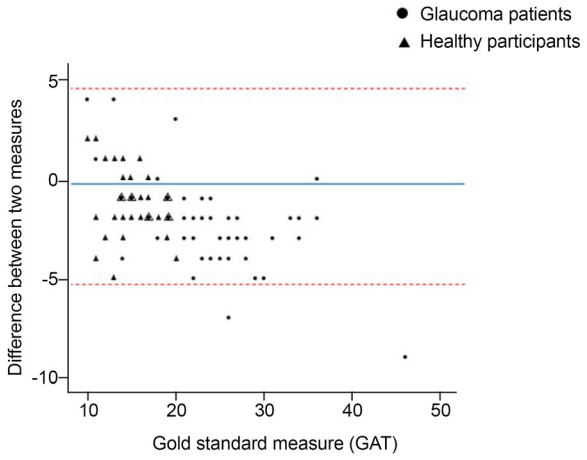

Figure 3. Bland-Altman plots describing differences between TONOI IOP and GAT IOP. Blue line describes mean difference between TONOI IOP and GAT IOP, red dot lines describe upper and lower limits of agreement. Difference = (TONOI IOP) - (GAT IOP); GAT = Goldmann applanation tonometry; TONOI = Tono-i tonometry; IOP = intraocular pressure.

고 찰

본 연구는 새로운 비접촉 안압계 토노아이로 측정한 안압을 대조 기기인 골드만압평안압계로 측정한 안압과 비교하여 기기의 신뢰도 및 임상적 유용성에 대해 평가하고자 하였다. 토노아이는 골드만압평안압계와 높은 일치도 및 상관도를 보였다.

현재까지 정확도가 높고 임상에서 많이 사용되는 안압계는 골드만압평안압계이다.[3,4] 하지만 세극등현미경을 통해서만 측정이 가능하며, 각막의 마취가 필요하고 각막과의 접촉이 필요한 침습적인 검사라는 단점이 있다.[5,6] 이에 대해 1972년 처음으로 Grolman[7]에 의해 비접촉안압계가 소개되었다. 비접촉안압계는 각막에 공기를 분사하고 각막의 압평을 광학적으로 측정하여 안압값을 산출하는 원리로 작동한다.[7] 비접촉안압계는 각막마취 및 눈물막 염색이 필요하지 않은 비침습적인 검사로 감염 위험이 줄어드는 장점이 있으며,[8] 비교적 빠르고 편리한 검사 진행이 가능하다. 한편 이전부터 Tonopen, Icare 등 여러 휴대형 안압계와 골드만압평안압계를 비교한 연구들이 있었으며,[9-12] 이러한 연구들에서도 골드만압평안압계와 통계적으로 유의한 동등성을 보였다.[13-17]

본 연구에서도 토노아이안압계로 측정한 안압과 골드만압평안압계로 측정한 안압을 비교하였을 때 급내상관계수

Table 3. Mean difference between TONOI and GAT and LoA

	Overall (mmHg)	Normal (mmHg)	Glaucoma (mmHg)
Mean difference*	-0.5	0.4	-1.2
95% upper LoA	4.4	4.2	4.1
95% lower LoA	-5.4	-3.5	-6.5

TONOI = Tono-i tonometry; GAT = Goldmann applanation tonometry; LoA = limits of agreement; IOP = intraocular pressure.
*TONOI IOP-GAT IOP.

Table 4. Proportion of underestimated IOP (< 20 mmHg) of glaucoma patients measured by TONOI tonometer

GAT IOP range (mmHg)	Proportion of underestimated IOP (< 20 mmHg) of glaucoma patients measured by TONOI tonometer	Mean difference of (TONOI IOP) - (GAT IOP)*
21-25	35% (5/14)	-1.6 mmHg
26-30	10% (1/10)	-2.5 mmHg
>30	0% (0/7)	-3.4 mmHg

The denominator refers to total number of participants whose GAT IOPs fall within the range shown in the left column, and the numerator refers to the number of participants in the denominator group whose TONOI IOPs are measured to be lower than 20 mmHg. The averages of the measured difference between TONOI IOP and GAT IOP for each group classified according to GAT IOP are also described in the right column.
IOP = intraocular pressure; TONOI = Tono-i tonometry; GAT = Goldmann applanation tonometry.
*The average of the measured value of (TONOI IOP) - (GAT IOP) of each particiapant, for each group classified according to GAT IOP.

는 전체 대상군 기준 0.847 (95% 신뢰구간 0.717-0.896), 정상 대조군 기준 0.882 (95% 신뢰구간 0.804-0.941), 녹내장 환자군 기준 0.828 (95% 신뢰구간 0.702-0.920)로 높은 일치도를 가진다. 또한 본 연구에서는 골드만압평안압계 안압이 높아질수록 토노아이안압계 안압에서 골드만압평안압계 안압을 뺀 측정치의 절대값이 증가하는 결과를 보였다(Table 4). 즉, 골드만압평안압계 안압을 기준으로 하여 비교하였을 때 높은 안압에서는 토노아이안압이 비교적 낮게 측정되는 경향을 보임을 의미한다. 이러한 연구 결과는 기존 비접촉안압계 연구와 비슷한 경향을 나타낸다.[17,18] 본 연구에서 녹내장 환자군의 토노아이안압이 골드만압평안압계 안압에 비해 비교적 낮게 측정되었던 것도 녹내장 환자군의 평균 안압이 높았던 것과 관련된 것으로 보인다. 본 연구에서 시행한 paired *t*-test에서는 녹내장 환자군에서 토노아이안압계 측정값이 골드만압평안압계 측정값보다 유의하게 낮은 것으로 나타났는데, 이 결과 또한 높은 안압의 녹내장 환자군에서 토노아이안압이 낮게 측정된 것이 영향을 준 것으로 생각되며, 실제로 골드만압평안압계 안압 21 mmHg 이하의 녹내장 환자군을 대상으로 시행한 paired *t*-test에서는 두 안압계 측정값이 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

토노아이안압계는 여러 장점을 갖는다. 환자가 가정에서 직접 안압 측정이 가능한 안압계로, 기존 비접촉안압계와는 달리 안압계와 안구가 올바른 위치 및 거리에 정렬되었는지 여부를 색깔을 통해 나타내 주기 때문에 일반인도 안압계를 제대로 정렬시켜 안압을 보다 정확하게 측정할 수 있게 해주며, 검사자가 따로 필요하지 않다는 장점을 갖는다. Icare IC100® 등 기존에 소개되었던 자가측정 안압계와 비교할 경우,[18] 골드만압평안압계 안압과의 평균 차이값을 기준으로 하였을 때 약 1 mmHg 차이를 보여 비슷한 정확도를 가진다(Table 3). 그러나 기존 자가측정 안압계는 리바운드 방식인 반면 토노아이안압계는 비접촉 방식으로, 기존 자가측정 안압계와는 달리 tip을 추가적으로 교체할 필요가 없고, 감염의 위험성이 없다는 장점을 갖는다.

다만 토노아이안압계는 비접촉 방식을 이용하여 안압을 자가로 측정하는 방식으로, 그 특성상 환자가 사용 방법을 충분히 숙지하지 못하는 경우 측정이 어려울 수 있다는 제한점이 있다. 따라서 인지기능이 떨어져 있는 환자, 소아 환자 등 협조가 어려운 경우에는 사용이 어려울 것이다. 또한 토노아이안압계는 골드만압평안압계와 비교하여 전체적으로 높은 일치도를 보였지만, 본 연구에서는 20 mmHg 초반의 안압을 정상 범위로 측정하는 경우가 종종 있으며 고안압일수록 안압이 골드만압평안압계에 비해 낮게 측정되는 경우가 있어 이를 주의해야 할 것이다.

본 연구의 제한점은 첫째, 이전 연구들과 비교하여 환자의 수가 적은 것, 둘째, 3차 병원 외래 환자들을 대상으로 측정하여 전체 대상자의 평균 연령이 54.4세로 지정된 표본 집단이 전체 인구를 대변하지 못하는 것, 셋째, 각막두께(central corneal thickness), 각막이력 현상, 각막저항 현상 등 각막 특성과 관련된 변수를 넣지 못한 것,[19-24] 넷째, 안압하강제 점안 치료 유무에 따른 분석을 시행하지 못한 점이다.[25,26] 추후 이러한 점을 보완한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 휴대로 자가측정이 가능한 안압측정 기기인 토노아이안압계를 이용하여 안압을 측정하였을 경우 골드만압평안압계와 높은 일치도를 보였으며, 고안압에서 안압이 다소 낮게 측정될 수 있음에 주의하면서 사용할 경우 녹내장 환자에서 임상적으로 중요한 안압상승 여부를 진단하는 데 유용할 것으로 생각된다.

REFERENCES

1) Collaborative Normal-Tension Glaucoma Study Group. Comparison of glaucomatous progression between untreated patients with normal-tension glaucoma and patients with therapeutically reduced intraocular pressures. Am J Ophthalmol 1998;126:487-97.
2) Leske MC, Heijl A, Hyman L, et al. Predictors of long-term progression in the early manifest glaucoma trial. Ophthalmology 2007;114:1965-72.
3) Goldmann H, Schmidt T. Applanation tonometry. Ophthalmologica 1957;134:221-42.
4) Landers J, Goldberg I, Graham SL. Analysis of risk factors that may be associated with progression from ocular hypertension to primary open angle glaucoma. Clin Exp Ophthalmol 2002;30:242-7.
5) 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.
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) Grolman B. A new tonometer system. Am J Optom Arch Am Acad Optom 1972;49:646-60.
8) Ko YC, Liu CJ, Hsu WM. Varying effects of corneal thickness on intraocular pressure measurements with different tonometers. Eye (Lond) 2005;19:327-32.
9) Frenkel RE, Hong YJ, Shin DH. Comparison of the Tono-Pen to the Goldmann applanation tonometer. Arch Ophthalmol 1988;106:750-3.
10) Iester M, Mermoud A, Achache F, Roy S. New Tonopen XL: comparison with the Goldmann tonometer. Eye (Lond) 2001;15:52-8.
11) Brusini P, Salvetat ML, Zeppieri M, et al. Comparison of ICare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. J Glaucoma 2006;15:213-7.
12) 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.

13) Gunvant P, Baskaran M, Vijaya L, et al. Effect of corneal parameters on measurements using the pulsatile ocular blood flow tonograph and Goldmann applanation tonometer. Br J Ophthalmol 2004;88:518-22.
14) Gupta V, Sony P, Agarwal HC, et al. Inter-instrument agreement and influence of central corneal thickness on measurements with Goldmann, pneumotonometer and noncontact tonometer in glaucomatous eyes. Indian J Ophthalmol 2006;54:261-5.
15) Lee J, Seong M, Kang M, et al. Comparison of rebound tonometer, non-contact tonometer, goldmann applanation tonometer and the relationship to central corneal thickness. J Korean Ophthalmol Soc 2012;53:988-95.
16) Lee KS, Kim SK, Kim EK, Kim TI. Comparison of intraocular pressure measured by non-contact tonometer, rebound tonometer, tono-pen, and Goldmann applanation tonometer. J Korean Ophthalmol Soc 2017;55:47-53.
17) Eah KS, Shin JW, Sung KR. New non-contact tonometer HNT-1P reliability: comparing intraocular pressure, central corneal thickness, and corrected intraocular pressure. J Korean Ophthalmol Soc 2020;61:524-31.
18) Dabasia PL, Lawrenson JG, Murdoch IE. Evaluation of a new rebound tonometer for self-measurement of intraocular pressure. Br J Ophthalmol 2016;100:1139-43.
19) Stamper RL. A history of intraocular pressure and its measurement. Optom Vis Sci 2011;88:E16-28.
20) 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.
21) Johnson M, Kass MA, Moses RA, Grodzki WJ. Increased corneal thickness simulating elevated intraocular pressure. Arch Ophthalmol 1978;96:664-5.
22) Stodtmeister R. Applanation tonometry and correction according to corneal thickness. Acta Ophthalmol Scand 1998;76:319-24.
23) Jorge JM, González-Méijome JM, Queiros A, et al. Correlations between corneal biomechanical properties measured with the ocular response analyzer and IC are rebound tonometry. J Glaucoma 2008;17:442-8.
24) Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. Ophthalmology 2008;115:80-4.
25) 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.
26) Harasymowycz PJ, Papamatheakis DG, Ennis M, et al. Relationship between travoprost and central corneal thickness in ocular hypertension and open-angle glaucoma. Cornea 2007;26:34-41.

= 국문초록 =

골드만안압계와의 안압 비교를 통한 토노아이안압계의 임상적 유용성 확인

목적: 안압 자가측정을 목적으로 한 새로운 비접촉식 휴대형 안압계 토노아이(TONOI)와 골드만압평안압계(GAT)로 측정된 안압을 비교하여 토노아이안압계의 임상적 유용성에 대해 평가하고자 하였다.

대상과 방법: 정상안 35안, 녹내장 환자(원발개방각녹내장, 정상안압녹내장) 42안이 포함되었다. 모든 환자에서 토노아이안압계와 골드만압평안압계를 이용하여 안압을 측정하였다. 두 가지 안압계의 안압 측정값의 평균 차이를 비교하기 위해 paired *t*-test를 시행하였고, 두 가지 안압계로 측정한 안압의 일치도를 비교하기 위해 two-way random effects model을 사용하였으며, 두 안압계 측정값의 차이의 양상을 구체적으로 평가하기 위해 Bland-Altman 분석 및 단순선형회귀접근법을 사용하였다.

결과: 토노아이안압계로 측정한 평균 안압은 15.9 ± 3.3 mmHg, 골드만압평안압계 평균 안압은 16.4 ± 5.1 mmHg였다. Paired t-test 결과 녹내장 환자군에서는 토노아이안압계 평균 측정값(16.7 ± 4.1)이 골드만압평안압계 평균 측정값(17.9 ± 6.1)보다 낮은 경향(p<0.001)을 보였다. 정상 대조군에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.273). Two-way random effects model로 분석한 결과 급내상관계수(interclass correlation coefficients, 95% confidence interval)는 전체 환자군에서 0.847 (0.702–0.920), 정상 대조군에서 0.882 (0.804–0.941), 녹내장 환자군에서 0.828 (0.742–0.887)로 높은 일치도를 보였다. Bland-Altman 분석에서 두 가지 안압계 측정값의 전체적인 평균 차이값은 통계적 유의성이 없었으나, 골드만압평안압계 안압 측정값이 상승할수록 두 안압계 측정값 차이의 절대값이 커지는 경향을 보였다.

결론: 토노아이안압계는 골드만압평안압계와 비교 시 유의한 일치도를 보인다. 토노아이안압계는 고안압에서 안압이 다소 낮게 측정될 수 있음에 주의하면서 사용할 경우, 자가측정을 통해 안압상승 여부를 선별하는 목적으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 보인다.
〈대한안과학회지 2023;64(5):416–422〉

김지호 / Ji Ho Kim
성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 안과학교실
Department of Ophthalmology,
Samsung Medical Center, University of
Sungkyunkwan School of Medicine