

## 제한사시를 동반한 갑상샘눈병증 환자에서 골드만압평안압계와 토노펜의 안압측정치 비교 분석

### Comparison of Intraocular Pressure via Goldmann-applanation Tonometry and TonoPen in Thyroid-associated Ophthalmopathy Accompanying Restrictive Strabismus

김준식 · 이은지 · 김남주

Jun Sik Kim, MD, Eun Ji Lee, MD, PhD, Namju Kim, MD, PhD

서울대학교 의과대학 분당서울대학교병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Seoul National University Bundang Hospital, Seoul National University College of Medicine, Seongnam, Korea

**Purpose:** To compare the intraocular pressure (IOP) measured using Goldmann-applanation tonometry (GAT) and Tonopen® tonometry and to evaluate the factors influencing the measurement difference in patients with thyroid-associated ophthalmopathy (TAO)-related restrictive strabismus.

**Methods:** In 50 eyes of 50 patients who were diagnosed with TAO, IOP measurements were taken using both GAT and a Tonopen® and were subsequently compared between the devices. Factors influencing the measurement difference between the devices were determined, including the restriction of eyeball movement, eyeball deviation, exophthalmometry, central corneal thickness, refractive errors, and blood thyroid hormone levels.

**Results:** In the TAO patients, the GAT-measured IOP was higher than for Tonopen® ( $16.1 \pm 4.7$  vs.  $13.8 \pm 4.5$  mmHg, respectively,  $p < 0.001$ ). As the restriction of vertical eyeball movement increased, the IOP difference between the devices also increased ( $p = 0.037$ ). The absolute IOP difference between the devices was positively correlated with restrictions in vertical eyeball movement ( $p = 0.027$ ), degree of vertical strabismus ( $p = 0.021$ ), and central corneal thickness ( $p \leq 0.031$ ).

**Conclusions:** In patients with TAO accompanying vertical eyeball movement restriction, potential errors in IOP measurements should be considered between the different IOP-measuring devices.

J Korean Ophthalmol Soc 2017;58(6):685-691

**Keywords:** Goldmann-applanation tonometry, Intraocular pressure, Restrictive strabismus, Thyroid-associated ophthalmopathy, Tonopen®

갑상샘눈병증은 안와의 연조직 및 외안근의 만성적인 염증을 특징으로 하며, 외안근의 비대와 섬유화에 따른 제한

사시가 동반되는 경우가 비교적 흔하다. 최근 우리나라 남 일면을 대상으로 한 대규모 연구에서 갑상선기능 이상이 녹내장의 위험인자로 밝혀진 바 있는데,<sup>1</sup> 특히 제한사시가 동반된 경우 안구운동 시 안구에 가해지는 물리적 전인력 및 상공막 정맥압의 증가에 의해 안압이 상승할 수 있어, 이로 인한 추가적 시신경 손상이 우려된다.<sup>2-5</sup> 따라서 제한사시가 동반된 갑상샘눈병증 환자에서 안압 검사는 매우 중요하고, 무엇보다도 안압의 정확한 측정이 필수적이라 할 수 있겠다.

안압의 측정 방식은 매우 다양하나, 그중에서도 골드만

■ Received: 2016. 12. 15. ■ Revised: 2017. 3. 11.

■ Accepted: 2017. 5. 25.

■ Address reprint requests to Eun Ji Lee, MD, PhD  
Department of Ophthalmology, Seoul National University  
Bundang Hospital, #82 Gumi-ro 173beon-gil, Bundang-gu,  
Seongnam 13620, Korea  
Tel: 82-31-787-7378, Fax: 82-31-787-4057  
E-mail: optdisc@gmail.com

© 2017 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.

압평안압계(Goldmann applanation tonometry, GAT)가 현재까지는 가장 보편적인 안압 측정의 도구로 알려져 있다.<sup>6,7</sup> 골드만압평안압계는 앉은 자세에서 정면을 주시한 상태로 각막을 압평하는 기능이 내재된 이중프리즘을 환자의 각막 중심부에 접촉하여 압평된 부분의 지름이 일정 수준에 도달할 때 작용하는 힘을 측정하는 방식을 사용한다.<sup>8</sup> 그런데 제한사시로 인해 안구가 편위되어 있는 환자에서 골드만압평안압계로 안압을 측정할 경우, 각막의 가장자리에서 각막을 압평하여 측정치에 오차가 생기거나,<sup>9-12</sup> 안압 측정을 위해 편위되어 있는 눈을 강제로 편위된 방향에 반하여 주시하게 만듦으로써 실제로 안압이 올라가는 경우가 생길 수 있어,<sup>13</sup> 안압이 정확하게 측정되기 어려울 수 있다.

안구의 편위에 영향을 받지 않고 안압을 측정할 수 있는 장비 중 하나로, TonoPen<sup>®</sup> (Reichert Inc., Depew, NY, USA) 안압계가 있다. 역시 각막을 압평하는 방식을 사용하는 안압 측정 도구인데, 정면 주시가 어려운 환자에서도 각막의 중심에서 안압을 측정할 수 있다는 장점이 있다.<sup>14</sup> 현재까지 TonoPen<sup>®</sup> 안압계와 골드만압평안압계로 측정한 안압을 비교한 많은 연구들에서 이들 측정치 간에 유의한 차이가 없음이 보고된 바 있다.<sup>6,15-18</sup> 그러나 제한사시가 동반된 경우에 발생할 수 있는 안압계 간 측정치 차이에 대해서는 아직 잘 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 제한사시가 있는 갑상샘병증 환자에서 골드만압평안압계와 TonoPen<sup>®</sup> 안압계의 안압 측정치를 비교하고, 그 차이와 관련된 인자들을 알아보려고 하였다.

## 대상과 방법

2010년 1월부터 2015년 4월까지 분당서울대학교병원 안과에 내원하여 갑상샘병증으로 진단받은 50명 50안의 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 본 연구는 헬싱키선언을 준수하였으며, 분당서울대학교병원의 연구윤리심의위원회의 승인을 받아 시행되었다(IRB No, B-1612-373-104). 안압은 골드만압평안압계와 TonoPen<sup>®</sup>의 두 가지 방법으로 연속 측정되었으며, 그 밖에 최대교정시력, 자동굴절검사(KR8900, Topcon Corp., Tokyo, Japan), 안구돌출계검사(MARCO exophthalmometer<sup>®</sup>, MARCO ophthalmic Inc., Jacksonville, FL, USA), 눈별림모음운동검사, 사시각측정, 전방각경검사, 검안경을 통한 안저 및 시신경검사, 험프리 자동시야검사계(Humphery Visual Field Analyzer, Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)를 이용한 24-2 SITA-Standard 검사, 빛간섭단층촬영기를 이용한 망막신경섬유층 두께 측정(Spectralis OCT, Heidelberg Engineering GmbH, Heidelberg, Germany), 각막두께측정(Orbscan, Bausch & Lomb Surgical,

Rochester, NY, USA)을 시행하였다. 안압측정은 두 명의 숙련된 검사자에 의해 이루어졌으며, 한 검사자가 먼저 골드만압평안압계로 안압을 측정한 뒤 5분 이상의 간격을 두고 다른 검사자가 TonoPen<sup>®</sup>으로 다시 안압을 측정하였다. 골드만압평안압계로 안압을 측정할 때에는 대상자에게 정면을 주시하도록 한 상태에서 1회 측정하였고, 심한 제한사시로 인하여 정면 주시가 어려운 경우는 제외하였다. TonoPen<sup>®</sup>으로 측정할 때에는 정면 주시와 상관없이 제일 안위에서 각막 중심부의 안압을 10회 측정하여 얻은 평균값을 사용하였다. 이때 측정값의 변동계수가 5% 미만인 경우만을 포함하였다. 눈별림모음운동은 상전, 하전, 내전, 외전의 네 방향의 기록을 포함하였고, 안구 운동에 제한이 없는 경우를 0, 의도한 방향으로 전혀 안구 운동이 없는 경우를 4, 그 사이를 각각 3, 2, 1로 제한의 정도를 분류하였다. 사시각은 원거리 주시 상태에서 굴절 오차를 최대 교정한 상태로 시행한 교대프리즘능가림검사 결과를 기록하였다. 안구돌출계검사, 눈별림모음운동, 사시각 측정은 모두 동일한 안과 의사에 의해 시행되었다.

모든 연구 대상자에 대해 갑상샘기능항진 또는 저하증의 치료병력과 갑상샘눈병증 치료병력, 녹내장 진단 및 치료병력을 조사하였으며, 갑상샘기능검사를 시행하였다. 갑상샘기능검사는 Triiodothyronine (T3), free thyroxine (fT4), thyroid stimulating hormone (TSH)의 혈중 농도를 정량화하여 표기하였다.

녹내장성 시신경 손상(시신경유두테의 국소적 또는 미만성 소실, 국소적인 시신경유두테 패임, 망막신경섬유층의 소실)이 있고, 이에 상응하는 시야검사의 이상이 있으며, 전방각 검사에서 개방각이 확인된 환자에서 녹내장을 진단하였다. 녹내장성 시야이상은 신뢰할 수 있는 검사 중 험프리 자동시야계를 이용한 최소한 2회 이상의 중심 24-2 시야 검사 결과 pattern deviation plot에서 코쪽 수평경선 주위는 포함하되 나머지 부위에서는 가장자리가 아닌 위치에 5 dB 이상으로 감도가 저하된 역치가 3점 이상 인접해 있고, 그 중 한 점이 10 dB 이상 감도 저하가 있거나, 10 dB 이상의 감도 저하가 2점 이상 인접해 있는 경우, 코쪽에 수평경선을 경계로 대칭되는 위치에 있는 점과 비교하였을 때 10 dB 이상 감도 저하의 차이가 있는 점이 2개 이상 인접하여 있는 경우로 정하였다.<sup>19</sup>

두 종류의 안압계로 측정된 안압은 짝지은 T 검정으로 비교하였고, 측정치 간의 일치도를 알아보기 위하여 급내 상관계수를 95% 신뢰구간과 함께 알아보았다. 각 안압계로 측정한 안압의 차( $IOP_{GAT} - IOP_{TonoPen}$ )와 그 절대값에 영향을 미치는 인자들을 단변량 선형회귀분석을 통해 알아 보았고, 이 중  $p$ 값이 0.10 미만인 인자들을 대상으로 다변

량 선형회귀분석을 시행하였다. 데이터의 정규성 검정은 Shapiro-Wilk 검정을 시행하였다. 통계학적 분석은 SPSS version 21.0 (SPSS for Windows, IBM-SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하였다.  $p$ 값은 0.05 미만인 경우 유의한 것으로 판정하였다.

## 결 과

연구에 포함된 50명의 연령은  $55.2 \pm 12.9$ 세(최대 77세, 최소 24세)였고, 남자가 28명, 여자가 22명이었다. 이들 중 21명에서 갑상샘눈병증에 대하여 고용량 스테로이드 치료를 시행받았던 병력이 있었고 5명은 전신마취하 안와감압술을 시행받은 병력이 있었다. 9명 9안은 녹내장으로, 2명 2안은 녹내장 의증으로 진단받은 병력이 있었다. 녹내장 환자 9명 9안 중 5명 5안에서 프로스타글란딘 제제를 사용하고 있었고, 3명 3안에서 각각 베타차단제, 베타차단제와 알파교감신경항진제 복합제, 베타차단제와 탄산탈수소효소억제제 복합제를 사용하고 있었으며, 나머지 1명 1안은 치료 없이 경과만 관찰하고 있었다. 연구 대상안의 임상적 특성은 Table 1에 기술하였다.

모든 안압 측정치 데이터가 정규성검정을 통과하였고, 골드만압평안압계와 TonoPen®의 안압측정값 사이의 급내 상관계수는 0.717 (95% 신뢰구간, 0.502, 0.840)로, 중등도의 일치도를 보였다. 안압은 골드만압평안압계로 측정한

경우  $16.1 \pm 4.7$  mmHg, TonoPen® 접촉안압계로 측정한 경우  $13.8 \pm 4.5$  mmHg로, 골드만압평안압계가 TonoPen® 안압계에 비해 안압을 높게 측정하는 경향을 보였다( $p < 0.001$ , Table 2). 이러한 경향은 녹내장으로 진단받은 환자군( $p = 0.033$ )과 그렇지 못한 환자군( $p = 0.002$ ) 모두에서 통계적으로 유의하였다(Table 2).

단변량분석에서 수직방향 안구운동제한( $p = 0.004$ )과, 수평방향 안구운동제한이 클수록( $p = 0.041$ ), 각막두께가 두꺼울수록( $p = 0.027$ ) 두 안압계의 측정치의 차이( $IOP_{GAT} - IOP_{TonoPen}$ )가 더 큰 것으로 나타나 골드만압평안압계가 안압을 더 높게 측정하는 것으로 나타났고, 다변량분석에서는 수직방향 안구운동제한( $p = 0.037$ )만이 유의한 인자로 나타났다(Table 3).

두 안압 측정치 차의 절대값( $|IOP_{GAT} - IOP_{TonoPen}|$ )을 종속 변수로 하여 동일한 분석을 시행하였을 때에도 역시 수직방향 안구운동제한( $p < 0.001$ ), 수평방향 안구운동제한( $p < 0.001$ ) 및 각막두께( $p = 0.006$ )가 단변량분석에서 유의한 상관관계를 보였다(Table 4). 한편 단변량분석에서  $p$ 값이 0.1 미만이었던 수직방향 사시각( $p = 0.097$ )과, 수평방향 사시각( $p = 0.085$ )을 다변량분석에 함께 포함하면서 발생할 수 있는 안구운동제한과 사시각의 상관성에 의한 영향을 배제하기 위해 이 두 인자를 각각 따로 분석한 다변량 분석 결과, 수직방향 안구운동제한( $p = 0.027$ ), 수직방향 사시각( $p = 0.021$ ) 및 각막두께( $p \leq 0.031$ )가 유의한 상관관계를 보였다.

Table 1. Subjects clinical characteristics (n = 50)

Clinical characteristics	Value
Age (years) (range)	$55.2 \pm 12.9$ (24–77)
Sex (male/female)	28/22
Type of thyroid associated ophthalmopathy (n, %)	
Hyperthyroidism	43 (86)
Hypothyroidism	7 (14)
Severity of thyroid associated ophthalmopathy (clinical activity score)	$1.06 \pm 1.13$ (0–4)
Glaucoma diagnosis (n, %)	9 (18)
Spherical equivalent (diopters)	$-1.53 \pm 3.07$
Central corneal thickness ( $\mu$ m)	$568.26 \pm 39.75$
Visual field MD (dB)	$-5.49 \pm 7.10$
Visual field PSD (dB)	$4.37 \pm 3.83$
Global RNFL thickness ( $\mu$ m)	$90.96 \pm 15.83$

Values are presented as mean  $\pm$  SD or n (%) unless otherwise indicated.

MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation; RNFL = retinal nerve fiber layer.

Table 2. Intraocular pressure measured using Goldmann applanation tonometry ( $IOP_{GAT}$ ) and Tonopen® ( $IOP_{TonoPen}$ )

	$IOP_{GAT}$ (mmHg)	$IOP_{TonoPen}$ (mmHg)	$p$ -value*
Overall subjects (n = 50)	$16.1 \pm 4.7$ (9–31)	$13.8 \pm 4.5$ (6–26)	$< 0.001$
Subjects with glaucoma (n = 9)	$13.0 \pm 3.1$ (9–18)	$11.0 \pm 4.8$ (6–21.5)	0.033
Subjects without glaucoma (n = 41)	$17.0 \pm 4.7$ (10–31)	$14.5 \pm 4.1$ (7–26)	0.002

Values are mean  $\pm$  standard deviation (range).

\*Statistically significant values.

**Table 3.** Factors associated with the difference between the intraocular pressure measured using Goldmann applanation tonometer ( $IOP_{GAT}$ ) and using Tonopen® ( $IOP_{TonoPen}$ ) ( $IOP_{GAT} - IOP_{TonoPen}$ )

	Univariate			Multivariate		
	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value
EOM limitation, per 1 unit larger						
Vertical	0.895	0.295, 1.495	0.004*	0.768	0.047, 1.488	0.037*
Horizontal	1.041	0.045, 2.037	0.041*	1.095	-0.302, 2.492	0.120
Strabismus, per 1 PD larger						
Vertical	-0.116	-0.302, 0.069	0.213			
Horizontal	0.047	-0.032, 0.126	0.235			
Thyroid function tests						
T3, per 1 ng/dL larger	-0.026	-0.089, 0.037	0.406			
Free T4, per 1 ng/dL larger	-0.770	-2.864, 1.324	0.462			
TSH, per 1 $\mu$ U/mL larger	-0.541	-1.344, 0.261	0.181			
Exophthalmos, per 1 mm larger	0.074	-0.340, 0.488	0.720			
Visual field MD, per 1 dB larger	-0.078	-0.266, 0.110	0.406			
Visual field PSD, per 1 dB larger	0.099	-0.252, 0.449	0.573			
Global RNFL thickness, per 1 $\mu$ m larger	-0.039	-0.120, 0.042	0.340			
Spherical error, per 1 diopter larger	-0.061	-0.434, 0.313	0.745			
Central corneal thickness, per 1 $\mu$ m larger	0.037	0.004, 0.069	0.027*	0.023	-0.007, 0.053	0.132

CI = confidence interval; EOM = extraocular muscle; PD = prism diopter; T3 = triiodothyronine; T4 = free thyroxine; TSH = thyroid stimulating hormone; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation; RNFL = retinal nerve fiber layer.

\*Statistically significant values.

**Table 4.** Factors associated with the absolute difference between the intraocular pressure measured using Goldmann applanation tonometer ( $IOP_{GAT}$ ) and using Tonopen® ( $IOP_{TonoPen}$ ) ( $|IOP_{GAT} - IOP_{TonoPen}|$ )

	Univariate			Multivariate 1			Multivariate 2		
	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value
EOM limitation, per 1 unit larger									
Vertical	0.852	0.446, 1.257	<0.001*	0.593	0.072, 1.115	0.027*			
Horizontal	1.247	0.584, 1.911	<0.001*	-0.986	-0.025, 1.997	0.056			
Strabismus, per 1 PD larger									
Vertical	0.112	-0.021, 0.245	0.097				0.224	0.036, 0.413	0.021*
Horizontal	0.049	-0.007, 0.106	0.085				0.057	-0.031, 0.144	0.198
Thyroid function tests									
T3, per 1 ng/dL larger	-0.020	-0.065, 0.025	0.375						
Free T4, per 1 ng/dL larger	-1.052	-2.516, 0.411	0.154						
TSH, per 1 $\mu$ U/mL larger	-0.150	-0.733, 0.432	0.606						
Exophthalmos, per 1 mm larger	0.048	-0.253, 0.349	0.750						
Visual field MD, per 1 dB larger	-0.027	-0.167, 0.114	0.702						
Visual field PSD, per 1 dB larger	-0.006	-0.267, 0.255	0.963						
Global RNFL thickness, per 1 $\mu$ m larger	0.024	-0.035, 0.083	0.416						
Spherical error, per 1 diopter larger	0.127	-0.142, 0.396	0.347						
Central corneal thickness, per 1 $\mu$ m larger	0.035	0.011, 0.059	0.006*	0.024	0.002, 0.046	0.031*	0.026	0.003, 0.050	0.029*

CI = confidence interval; EOM = extraocular muscle; PD = prism diopter; T3 = triiodothyronine; T4 = free thyroxine; TSH = thyroid stimulating hormone; MD = mean deviation; PSD = pattern standard deviation; RNFL = retinal nerve fiber layer.

\*Statistically significant values.

## 고 찰

갑상샘병증에서 안압이 상승하는 기전으로는 만성적인 염증성 물질과 점액질다당류의 축적에 의한 이차성 폐쇄각뿐 아니라,<sup>20,21</sup> 외안근, 특히 하직근의 구축에 의한 제

한사시 및 상공막 정맥압의 증가가 주된 원인으로 제시되어 왔으며, 이 환자들에서는 특히 상방 주시 시 섬유화되고 비대해진 하직근이 안구를 압박하여 안압이 상승하는 것으로 생각되고 있다.<sup>20,22</sup> 본 연구에서는 제한사시를 동반한 갑상샘병증 환자에서 골드만압평안압계가 TonoPen® 접촉

안압계에 비해 안압을 높게 측정하는 경향을 보였으며, 안구의 수직운동제한이 심할수록 그 차이가 유의하게 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수직방향 안구운동제한이 심한 환자일수록 정면을 주시하도록 했을 때 하직근의 안구 압박 심화로 인하여 안압 상승의 폭이 더 커질 수 있는데, 골드만압평안압계는 정면에서 탐침이 각막에 접근하는 방식을 사용하기 때문에 이에 영향을 받아 안압이 높게 측정되었을 것으로 생각할 수 있다. 반면, TonoPen®은 측정 방향의 제한이 없으므로 주시 방향에 관계 없이 안압을 측정할 수 있고, 따라서 이러한 현상의 영향을 받지 않았을 가능성이 있겠다. Rahman et al<sup>23</sup>은 제한사시를 동반한 갑상샘눈병증 환자에서 골드만압평안압계로 정면 주시 시 각막의 중심에서, 상방 주시 시 각막의 하측 가장자리에서 안압을 측정하였고, TonoPen® 안압계로 정면 및 상방 주시 시 각막의 중심에서 안압을 측정하여 각각의 측정치를 비교한 결과, 정면 주시 시와 상방 주시 시 모두 두 안압계 사이의 측정치에는 유의한 차이가 없음을 보고한 바 있다. Rahman et al<sup>23</sup>의 연구는 인위적인 정면주시와 상방주시 상태에서 각 안압계의 측정치를 비교하고자 하였다는 점에서, 주시방향을 인위적으로 정하지 않은 상태에서 각 안압계로 측정 시 임상적으로 요구되는 안위(골드만압평안압계의 경우 정면주시, TonoPen® 안압계의 경우 일차안위)에서 측정값의 차이를 알아보고자 한 본 연구와는 연구 설계가 다르다. 그러나 Rahman et al<sup>23</sup>의 결과는 TonoPen®이 제한사시를 동반한 갑상샘눈병증 환자에서도 골드만압평안압계만큼 믿을 만한 결과를 얻게 해 준다는 점을 시사하고 있어, 본 연구에서 얻은 결론인 TonoPen® 안압계의 유용성을 간접적으로 뒷받침해준다고 할 수 있겠다.

한편, 본 연구에서는 두 안압계의 안압 측정치 차이의 절대값은 안구의 수직운동제한뿐 아니라, 수직방향 사시각의 영향을 함께 받는 것으로 나타났다. 일반적으로 각막의 주변부에서 측정한 안압이 중심각막에서 측정한 안압에 비해 낮은 것으로 알려져 있는데,<sup>24,26</sup> 사시각이 큰 환자, 즉 안구의 편위가 큰 환자에서 골드만압평안압계로 안압을 측정할 경우 각막 중심주변부에서 안압을 측정하게 되어 TonoPen® 접촉안압계보다 안압을 낮게 측정하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 사시각이 클수록 안압 측정치 차이의 절대값이 더 커진 것으로 생각할 수 있겠다. 본 연구는 후향적 연구로 진행되었기 때문에 골드만압평안압계로 안압 측정 시 각막의 중심이나 중심주변부 등의 측정된 위치를 확인할 수 없었다는 제한점이 있다.

각막이 두꺼울수록 압평안압계로 측정한 안압이 높게 측정되는 현상은 이전부터 잘 알려진 사실이다. 이러한 현상은 Imbert-Fick의 법칙에 의거한 골드만압평안압계뿐 아니

라<sup>27-31</sup> Mackay-Marg의 원리에 기반한 TonoPen® 압평안압계에서도 마찬가지인 것으로 알려져 있다.<sup>15,16,32-35</sup> 최근 연구들에서는 각막이 두껍거나, 안압이 정상치보다 높은 경우 압평안압계 간의 안압측정치치의 양의 상관관계가 감소할 수 있음을 보였다.<sup>35,36</sup> 갑상샘눈병증 환자를 대상으로 한 본 연구에서도 중심각막두께가 두꺼울수록 안압계 간 안압측정치 차이가 크게 나타날 수 있음을 확인하였다.

일반적으로 TonoPen®은 안압 측정의 변산도가 상대적으로 높은 것으로 알려져 있다.<sup>17,37</sup> 그러나 Schweier et al<sup>38</sup>은 이러한 재현성의 차이가 유의한 수준의 차이는 아님을 보고하였다. 본 연구에서는 Tonopen® 측정값의 변동계수가 5% 미만인 경우만 데이터로 포함하였기 때문에, Tonopen® 측정값의 변산도가 결과에 미치는 영향은 미미하였을 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 단일 기관 특성상 포함된 환자 수가 적었다. 이에 안압 하강 치료나 갑상샘안병증 치료 방법에 따른 안압 측정치의 변화에 대해서는 알아볼 수 없었다. 둘째, 골드만압평안압계로 안압을 측정할 때 정면주시가 되지 않는 환자들은 정확한 안압측정이 어려워 제외되었고, 따라서 본 연구의 결과는 제한사시가 매우 심한 환자들에서는 적용되기 어려울 것으로 생각된다. 셋째, 후향적 연구의 한계점 중 하나로 안압측정치 간의 눈가림이 이루어지지 않았고, 이것이 결과에 영향을 미쳤을 가능성을 배제할 수 없겠다. 추후 보다 많은 수의 환자들을 대상으로 한 전향적 연구가 시행될 수 있다면 이와 같은 약점을 보완할 수 있을 것으로 보인다. 넷째, 사시가 기존부터 있던 것인지 갑상샘눈병증으로 인해 새로 발생한 제한사시인지 판단하기 어렵다는 한계가 있다. 다섯째, 통계처리의 용이함을 위하여 사시, 사위 혹은 제1안위에서의 편위 여부 등을 구분하지 않고 분석을 하였다. 마지막으로, 본 연구는 두 안압계의 차이값을 중심으로 시행된 연구이기 때문에 실제로 어떤 장비가 더 정확한 측정값을 제공하였는지를 판단하기는 어렵다. 그러나 본 연구에서는 IOP<sub>GAT</sub>가 상당히 높은 반면, IOP<sub>TonoPen</sub>이 정상범위였던 환자들 중 상당수가 비록내장안에 포함되어 있었고(Table 2), 이는 골드만압평안압계가 실제보다 높은 측정값을 제시했을 것이라는 점을 간접적으로 예측할 수 있는 결과라 하겠다.

결론적으로 제한사시를 동반한 갑상샘눈병증 환자에서 안구의 수직운동제한이 심하거나 수직방향사시각이 클수록, 그리고 중심각막두께가 두꺼울수록 안압 측정 방식에 따른 측정치의 차이가 크게 나타날 수 있다. 갑상샘눈병증으로 인한 수직운동제한이 발생한 환자에서는 측정 방향에 제한을 받지 않는 휴대용 안압계의 사용이 보다 바람직할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- 1) Kim M, Kim TW, Park KH, Kim JM. Risk factors for primary open-angle glaucoma in South Korea: the Namil study. *Jpn J Ophthalmol* 2012;56:324-9.
- 2) Kalmann R, Mourits MP. Prevalence and management of elevated intraocular pressure in patients with Graves' orbitopathy. *Br J Ophthalmol* 1998;82:754-7.
- 3) Fishman DR, Benes SC. Upgaze intraocular pressure changes and strabismus in Graves' ophthalmopathy. *J Clin Neuroophthalmol* 1991;11:162-5.
- 4) Ohtsuka K, Nakamura Y. Open-angle glaucoma associated with Graves disease. *Am J Ophthalmol* 2000;129:613-7.
- 5) Cockerham KP, Pal C, Jani B, et al. The prevalence and implications of ocular hypertension and glaucoma in thyroid-associated orbitopathy. *Ophthalmology* 1997;104:914-7.
- 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) Wessels IF, Oh Y. Tonometer utilization, accuracy, and calibration under field conditions. *Arch Ophthalmol* 1990;108:1709-12.
- 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) Zappia RJ, Winkelman JZ, Gay AJ. Intraocular pressure changes in normal subjects and the adhesive muscle syndrome. *Am J Ophthalmol* 1971;71:880-3.
- 10) Saunders RA, Helveston EM, Ellis FD. Differential intraocular pressure in strabismus diagnosis. *Ophthalmology* 1981;88:59-70.
- 11) Reader AL 3rd. Normal variations of intraocular pressure on vertical gaze. *Ophthalmology* 1982;89:1084-7.
- 12) Nardi M, Bartolomei MP, Romani A, Barca L. Intraocular pressure changes in secondary positions of gaze in normal subjects and in restrictive ocular motility disorders. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1988;226:8-10.
- 13) Herzog D, Hoffmann R, Schmidtman I, et al. Is gaze-dependent tonometry a useful tool in the differential diagnosis of Graves' ophthalmopathy? *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2008;246:1737-41.
- 14) Hessemer V, Rossler 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.
- 15) Kao SF, Lichter PR, Bergstrom TJ, et al. Clinical comparison of the Oculab Tono-Pen to the Goldmann applanation tonometer. *Ophthalmology* 1987;94:1541-4.
- 16) Frenkel RE, Hong YJ, Shin DH. Comparison of the Tono-Pen to the Goldmann applanation tonometer. *Arch Ophthalmol* 1988;106:750-3.
- 17) Midelfart A, Wigers A. Clinical comparison of the ProTon and Tono-Pen tonometers with the Goldmann applanation tonometer. *Br J Ophthalmol* 1994;78:895-8.
- 18) Yilmaz I, Altan C, Aygit ED, et al. Comparison of three methods of tonometry in normal subjects: Goldmann applanation tonometer, non-contact airpuff tonometer, and Tono-Pen XL. *Clin Ophthalmol* 2014;8:1069-74.
- 19) Anderson DR, Patella VM. Automated Static Perimetry, 2nd ed. St. Louis: Mosby, 1999; 152-3.
- 20) Goldberg I. Thyroid eye disease and glaucoma. *J Glaucoma* 2003;12:494-6.
- 21) Manor RS, Kurz O, Lewitus Z. Intraocular pressure in endocrinological patients with exophthalmos. *Ophthalmologica* 1974;168:241-52.
- 22) Takahashi Y, Nakamura Y, Ichinose A, Kakizaki H. Intraocular pressure change with eye positions before and after orbital decompression for thyroid eye disease. *Ophthal Plast Reconstr Surg* 2014;30:47-50.
- 23) Rahman I, Cannon PS, Sadiq SA. Tonopen versus Goldmann applanation tonometry for detecting restrictive thyroid eye disease. *Ophthal Plast Reconstr Surg* 2010;26:36-8.
- 24) Boote C, Dennis S, Newton RH, et al. Collagen fibrils appear more closely packed in the prepupillary cornea: optical and biomechanical implications. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44:2941-8.
- 25) González-Méijome JM, Jorge J, Queirós A, et al. Age differences in central and peripheral intraocular pressure using a rebound tonometer. *Br J Ophthalmol* 2006;90:1495-500.
- 26) Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. *Ophthalmology* 2008;115:80-4.
- 27) Ehlers N, Bramsen T, Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1975;53:34-43.
- 28) Argus WA. Ocular hypertension and central corneal thickness. *Ophthalmology* 1995;102:1810-2.
- 29) Whitacre MM, Stein RA, Hassanein K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. *Am J Ophthalmol* 1993;115:592-6.
- 30) Herndon LW, Choudhri SA, Cox T, et al. Central corneal thickness in normal, glaucomatous, and ocular hypertensive eyes. *Arch Ophthalmol* 1997;115:1137-41.
- 31) Wolfs RC, Klaver CC, Vingerling JR, et al. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study. *Am J Ophthalmol* 1997;123:767-72.
- 32) Dohadwala AA, Munger R, Damji KF. Positive correlation between Tono-Pen intraocular pressure and central corneal thickness. *Ophthalmology* 1998;105:1849-54.
- 33) Mok KH, Wong CS, Lee VW. Tono-Pen tonometer and corneal thickness. *Eye (Lond)* 1999;13(Pt 1):35-7.
- 34) Tonnu PA, Ho T, Newson T, et al. The influence of central corneal thickness and age on intraocular pressure measured by pneumotonometer, non-contact tonometry, the Tono-Pen XL, and Goldmann applanation tonometry. *Br J Ophthalmol* 2005;89:851-4.
- 35) 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.
- 36) 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.
- 37) Tonnu PA, Ho T, Sharma K, et al. A comparison of four methods of tonometry: method agreement and interobserver variability. *Br J Ophthalmol* 2005;89:847-50.
- 38) Schweier C, Hanson JV, Funk J, Töteberg-Harms M. Repeatability of intraocular pressure measurements with Icare PRO rebound, Tono-Pen AVIA, and Goldmann tonometers in sitting and reclining positions. *BMC Ophthalmol* 2013;13:44.

---

= 국문초록 =

## 제한사시를 동반한 갑상샘눈병증 환자에서 골드만압평안압계와 토노펜의 안압측정치 비교 분석

**목적:** 제한사시를 동반한 갑상샘눈병증 환자에서 골드만압평안압계로 측정한 안압과 TonoPen<sup>®</sup> 접촉안압계로 측정한 안압을 비교하고, 그 차이에 영향을 미치는 인자를 분석하고자 하였다.

**대상과 방법:** 갑상샘눈병증으로 진단받은 50명 50안에서 골드만압평안압계와 TonoPen<sup>®</sup> 접촉안압계로 각각 안압을 측정하여 비교하였다. 안구운동제한 정도, 사시각, 안구돌출계검사, 중심각막두께, 굴절오차, 갑상샘호르몬 수치 등을 포함하여 두 안압계의 안압측정치 차이에 영향을 주는 인자들을 분석하였다.

**결과:** 갑상샘눈병증 환자에서 골드만압평안압계는 Tonopen<sup>®</sup> 접촉안압계에 비해 안압을 높게 측정하는 경향을 보였고(각각  $16.1 \pm 4.7$ ,  $13.8 \pm 4.5$  mmHg,  $p < 0.001$ ), 안구의 수직운동제한 정도가 심할수록 그 차이가 더 큰 것으로 나타났다( $p = 0.037$ ). 두 안압계의 안압측정치 차이의 절대값은 안구의 수직운동제한 정도가 심할수록( $p = 0.027$ ), 수직방향 사시각이 클수록( $p = 0.021$ ), 그리고 중심각막두께가 두꺼울수록( $p < 0.031$ ) 더 큰 것으로 나타났다.

**결론:** 안구의 수직운동제한을 동반한 갑상샘눈병증 환자에서 안압 측정 시, 안압계 종류에 따른 측정치의 오차를 고려해야 하겠다. (대한안과학회지 2017;58(6):685-691)

---