

## 리바운드 안압계, 비접촉 안압계, 골드만 압평안압계의 비교 및 중심각막두께와의 상관성

이주향 · 성민철 · 강민호 · 조희윤 · 이윤정

한양대학교 의과대학 구리병원 안과학교실

**목적:** 한국인을 대상으로 리바운드 안압계와 비접촉 안압계로 측정한 안압을 골드만 압평안압계로 측정한 안압을 기준으로 비교하고 중심각막두께의 영향을 평가하고자 하였다.

**대상과 방법:** 273안을 대상으로 Icare® 리바운드 안압계, 골드만 압평안압계, 비접촉 안압계로 안압을 측정하고 중심각막두께를 측정하였다. 대상자는 골드만 압평안압과 중심각막두께에 따라 그룹을 나누었으며 각각의 안압 간의 차이를 비교하였다.

**결과:** 리바운드 안압계로 측정한 안압은 비접촉 안압계로 측정한 안압보다 골드만 압평안압계로 측정한 안압과 유의한 상관관계를 보였다. 중심각막두께는 리바운드 안압에 유의한 상관관계를 보였다. 리바운드 안압은 얇은 각막군에서는 골드만 압평안압보다 낮게 측정되었으며, 두꺼운 각막군에서는 높게 측정되었다.

**결론:** 리바운드 안압계로 측정한 안압은 골드만 압평안압계로 측정한 안압과 뚜렷한 상관관계를 보였다. 하지만 리바운드 안압계는 중심각막두께의 영향을 받고 저안압군에서 골드만 안압과의 상관관계가 뚜렷하지 않기 때문에 안압의 해석에 있어서 중심각막두께와 환자의 안압 상태를 고려해야 한다.

〈대한안과학회지 2012;53(7):988-995〉

안압의 측정은 안과를 내원하는 모든 환자에서 기본적으로 측정되는 검사이기 때문에 검사의 정확성, 재현성뿐만 아니라 검사 과정의 간편성이 동시에 요구되며 녹내장 환자의 진단과 치료 효과의 판단 및 경과 관찰에 매우 중요하다.<sup>1</sup>

현재까지 골드만 압평안압계가 가장 정확한 안압 측정계로 사용되고 있으나, 이는 점안마취제를 이용한 각막의 마취가 필요하고 각막에 접촉이 되는 침습적인 검사로 측정 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 또한 세극등 현미경에 장착되어 있기 때문에 안과 검사실에서만 측정할 수 있어 이동이 힘든 환자나 소아의 경우에는 측정이 용이하지 않으며 안압 측정치가 각막 두께의 영향을 받는다는 한계가 있다.<sup>2-4</sup> 이러한 단점을 극복하고자 최근에는 유발과 충돌(inductive/impact)의 원리를 이용하는 리바운드 안압계(Rebound tonometer, ICare®, Helsinki, Finland)가 도입되었는데 이는 휴대가 가능하고 점안마취제를 사용하지 않고

빠른 시간 내에 안압을 측정할 수 있으며 골드만 압평안압계와 유사하게 정확한 안압 측정이 가능하다고 보고되고 있다.<sup>5-9</sup>

이에 저자들은 한국인을 대상으로 하여 임상에서 흔히 사용되고 있는 비접촉 안압계와 Icare® 리바운드 안압계, 골드만 압평안압계로 측정한 안압들의 상관성 및 리바운드 안압계에 의한 안압측정치에 대한 중심각막두께의 영향에 대해 알아보고 리바운드 안압계의 임상적 유용성에 대해 조사하고자 하였다.

### 대상과 방법

2011년 3월 한양대학교 구리병원을 내원한 환자 중 3.5 디옵터 이상의 각막 난시가 있거나 각막혼탁 등의 각막 질환, 안내 염증이 있거나 외상의 병력, 이전의 굴절교정수술을 받은 환자, 녹내장 이외의 다른 안과적 질환이 있는 환자, 콘택트렌즈를 최근 2주 이내 착용한 환자를 제외한 남녀 273명을 대상으로 전향적 연구를 시행하였다. 이 중 정상안 130명, 녹내장안 143명을 대상으로 하였으며 양안 중 단안만 연구에 포함하였다.

모든 대상군에게 병력조사, 시력측정을 한 후 비접촉 안압계로 연속하여 양안을 3회씩 안압을 측정하여 평균값을 구하고, 이후 리바운드 안압계(ICare®)를 이용하여 안압을

■ 접수 일: 2011년 7월 25일 ■ 심사통과일: 2011년 12월 31일  
■ 게재허가일: 2012년 5월 21일

■ 책임저자 성민철

경기도 구리시 경춘로 153  
한양대학교구리병원 안과  
Tel: 031-560-2350, Fax: 031-564-9479  
E-mail: goddns76@hanmail.net

\* 이 논문의 요지는 2011년 대한안과학회 제106회 학술대회에서 포스터로 발표되었음.

측정하였으며, 최소 5분이 지난 후 점안 마취를 하고 골드만 압평안압계를 이용하여 2회 안압을 측정 후 평균값을 기록하였다. 안압을 모두 측정하고 최소 5분 후에 다시 점안 마취 후 중심각막두께를 측정하였다. 각 안압계 측정에서의 검사자 편견을 막기 위해 리바운드 안압계와 골드만 압평안압계는 각각 서로 다른 검사자에 의해 측정되었다.

환자들은 안압 측정치와 중심각막두께에 따라서 각각 세 그룹, 두 그룹으로 나뉘었다. 안압 측정치는 골드만 압평안압계를 기준으로 하여 10 mmHg 이하인 저안압군(36안), 10 mmHg 초과 21 mmHg 미만인 정상 안압군(218안), 21 mmHg 이상인 고안압군(19안)으로 나누었고,<sup>10</sup> 중심각막두께는 Lee et al<sup>11</sup>이 제시한 한국인 정상안의 평균 중심각막두께인 553.6  $\mu$ m를 기준으로 하여 얇은 각막군(160안), 두꺼운 각막군(113안)으로 나누어 세 종류의 안압계로 측정한 안압들을 비교하였고 그들의 상관관계를 분석하였다.

리바운드 안압계는 측정 말단부에 자성(磁性)을 가진 철선으로 이루어진 탐침과 솔레노이드(solenoid)로 구성되어 있으며 탐침의 말단부는 둥근 플라스틱으로 싸여 있다. 안압계에 장착된 버튼을 누르면 솔레노이드 내 탐침의 끝이 초당 약 0.2미터의 속도로 각막에 부딪힌 후 속도가 감소되며 제자리로 회복되고 각막 충돌 시에 탐침의 감속 시간(deceleration time)이 측정되어 안압으로 변환된다.<sup>6</sup> 안압이 높을수록 탐침이 각막에 충돌되는 기간은 짧고 빠르게 감속되어 제자리로 회복된다.<sup>7</sup> 환자에게 정면을 주시하게 한 후, 숙련된 검사자(S.J.W)는 탐침의 끝이 중심 각막에서 4-8 mm 떨어진 거리에서 안압계의 몸체를 한 손으로 쥔 다음 버튼을 누르면 탐침이 나와 각막에 충돌하고 제자리로 회복되면서 안압을 측정하게 된다(리바운드 안압). 안압은 6회 측정하며 가장 높은 값과 가장 낮은 값을 뺀 나머지의 평균값을 안압계가 자동으로 화면에 숫자로 나타내게 된다. 검사의 신뢰성을 4가지 형태(P, P<sup>-</sup>, P- 또는 P<sub>-</sub>)로 안압측정치 앞에 표시하는데 뒤로 갈수록 신뢰도가 떨어지는 값으로 환자가 눈을 감거나 머리의 위치가 기울어져 있어 측정이 부정확하게 된 경우 등에는 P- 또는 P<sub>-</sub>로 나타난다. 본 연구에서는 이상적인 측정 수치 P 또는 P<sup>-</sup>만을 측정치로 이용하였으며, P- 또는 P<sub>-</sub>가 기록된 경우에는 이상적인 수치가 나올 때까지 재측정하였다.

골드만 압평안압계는 0.5% 염산프로파라카인과 형광물질이 혼합된 용액을 결막낭에 점안하여 점안 마취 후 측정하였다(골드만 안압). 골드만 안압은 숙련된 검사자(L.J.H)에 의해서 양안을 각각 2회씩 측정하였으며 각 측정치마다 1분간의 여유를 두었다. 두 측정치 간에 2 mmHg 이상 차이가 나는 경우에는 한번 더 측정을 하여 그 평균치를 기록하였다.

비접촉 안압계(NT-2000<sup>®</sup>, NIDEK, Japan)는 숙련된 검사자(J.S.Y)에 의해 양안을 각각 2번씩 측정하였으며 그 평균치를 기록하였다. 환자가 눈을 감거나 기계상 오류가 표시된 경우는 제외하였다.

중심각막두께는 초음파각막두께측정계(SP-3000<sup>®</sup>, Tomey, Japan)를 이용하였으며 안압을 측정한 후 마지막으로 측정하였다. 점안 마취 후 표준편차 3.0  $\mu$ m 이상인 값은 제외하고 최소 5회 측정한 후 이의 평균값을 기록하였다.

비접촉 안압계, 리바운드 안압계와 골드만 압평안압계로 측정한 안압(이후 각각을 비접촉 안압, 리바운드 안압, 골드만 안압이라 부른다)을 One way ANOVA로 비교하였고, Pearson 상관분석을 하였다. 여러 종류의 안압계로 측정된 안압의 상관성을 알아보기 위해 Bland-Altman plot을 사용하였으며, 이는 두 안압계의 평균치와 두 안압계 측정치의 차이를 보여준다. 중심각막두께와 안압 측정치와의 상관관계를 알아보기 위해 선형회귀분석을 이용하였다. 또한 급내상관계수(intraclass correlation coefficient)는 두 안압 측정치를 비교하기 위해 사용하였다. 통계학적 분석은 SPSS version 17.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하였으며 유의수준은 0.05 미만으로 정하였다.

## 결 과

전 대상자들의 평균 나이는 61.3  $\pm$  13.9세(14-86세)였고, 남자 141명(141안), 여자 132명(132안)이었고 중심각막두께는 평균 545.4  $\pm$  37.8  $\mu$ m (430-663  $\mu$ m)였다.

비접촉 안압계로 측정한 안압(비접촉 안압)은 평균 14.7  $\pm$  3.7 mmHg, 골드만 압평안압계로 측정한 안압(골드만 안압)은 14.5  $\pm$  4.3 mmHg, 리바운드 안압계로 측정한 안압(리바운드 안압)은 14.6  $\pm$  4.6 mmHg이었다. 리바운드 안압은 골드만 안압보다 평균 0.02  $\pm$  1.88 mmHg 높았고 ( $p=0.97$ ) 비접촉 안압보다 평균 0.14  $\pm$  2.63 mmHg 낮게

**Table 1.** Summary of the subject characteristics, IOP measurements (mm Hg) using the 3 tonometers, and corneal thickness

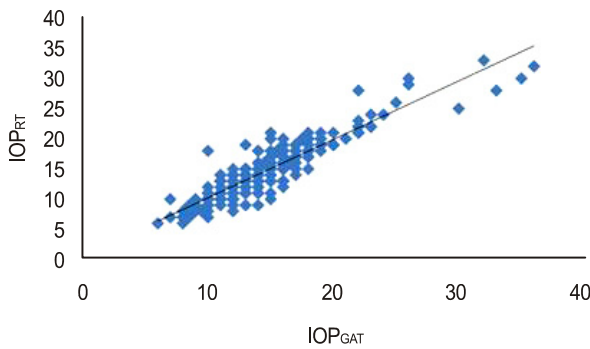
Age (yr)	61.3 $\pm$ 13.9
Sex (M:F)	141:132
IOP <sub>NCT</sub> (mm Hg)	14.7 $\pm$ 3.7
IOP <sub>RT</sub> (mm Hg)	14.6 $\pm$ 4.6
IOP <sub>GAT</sub> (mm Hg)	14.5 $\pm$ 4.3
CCT ( $\mu$ m)	545.4 $\pm$ 37.8

Data are expressed as mean  $\pm$  SD or number.

IOP = intraocular pressure; IOP<sub>NCT</sub> = IOP measurement of a noncontact tonometer; IOP<sub>RT</sub> = IOP measurement of a Icare rebound tonometer; IOP<sub>GAT</sub> = IOP measurement of a Goldmann applanation tonometer; CCT = central corneal thickness.

측정되었다( $p=0.32$ ). 비접촉 안압계는 골드만 압평안압계에 비해 평균  $0.15 \pm 2.76$  mmHg 높게 측정되었다( $p=0.34$ ). 안압 측정치는 비접촉 안압계로 측정한 경우가 가장 높았으며 골드만 안압이 가장 낮았다(Table 1).

세 안압계 각각의 측정 안압들 간 상관계수를 보면 리바운드 안압과 골드만 안압 사이에 뚜렷한 상관관계를 보였



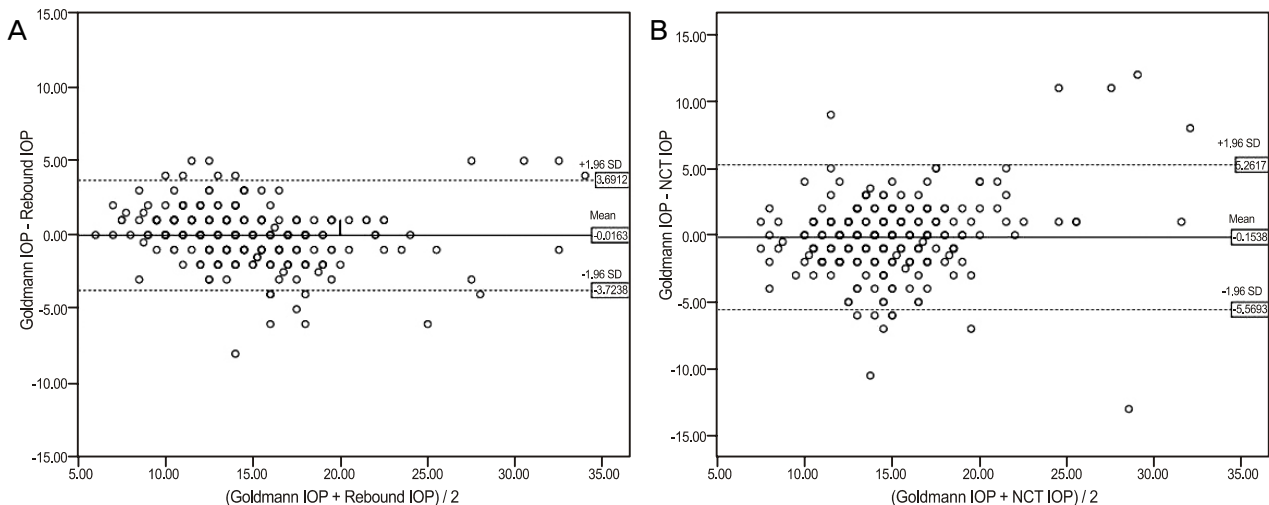
**Figure 1.** The correlation between Goldmann applanation tonometer and rebound tonometer IOP measurements ( $r = 0.913$ ,  $p < 0.001$ ).

다( $r=0.913$ ,  $p<0.001$ ) (Fig. 1). 리바운드 안압과 비접촉 안압 간에는  $r=0.820$  ( $p<0.001$ ), 비접촉 안압과 골드만 안압 간에는  $r=0.773$  ( $p<0.001$ )의 유의한 상관관계를 보였다(Table 2).

골드만 안압과 리바운드 안압 또는 골드만 안압과 비접촉 안압을 비교하는 Bland-Altman plot에서는 각각의 측정 방법 사이에 추정된 값과 실제 얻어진 값이 일치함을 보여준다. 리바운드 안압은 골드만 안압보다 평균  $0.02 \pm 1.88$  mmHg 높게 나왔고, 이러한 차이는 측정안압의 범위 전체에 걸쳐 일정한 값을 보여준다(Fig. 2A). 골드만 안압과 비접촉 안압의 차이를 비교하는 Bland-Altman plot에서는 리바운드 안압보다 신뢰구간의 폭이 더 넓었다(Fig. 2B).

급내상관계수는 리바운드 안압과 골드만 안압(0.952, 95% 신뢰구간= $0.940-0.962$ ,  $p<0.001$ )이 가장 높았고, 리바운드 안압과 비접촉 안압(0.891, 95% 신뢰구간= $0.862-0.914$ ,  $p<0.001$ ), 골드만 안압과 비접촉 안압(0.868, 95% 신뢰구간= $0.833-0.896$ ,  $p<0.001$ ) 순이었다.

리바운드 안압과 골드만 안압의 차이가 1 mmHg보다 작



**Figure 2.** Bland-Altman plots of agreement between Goldmann applanation tonometer and rebound tonometer for each eye measured (A), and Goldmann applanation tonometer and Non-contact tonometer (B). The differences in IOP of both tonometers (Goldmann applanation tonometer value minus rebound tonometer value (or non-contact tonometer value), mmHg) is plotted against the average of the IOP of both tonometers. The solid line is the mean of the average IOP values of both tonometers. The dotted horizontal lines are  $\pm 1.96$  SD confidence interval (CI) (i.e. 95% of the points should fall within these lines).

**Table 2.** Bland-Altman analysis of IOP measurements using different tonometers (mean difference  $\pm$  SD and 95% LoAs)

	Correlation coefficient with IOP <sub>GAT</sub>	IOP <sub>GAT</sub> -IOP <sub>RT(or NCT)</sub> (mean difference $\pm$ SD)	95% LoA		
			Lower LoA	Upper LoA	Width of LoA
IOP <sub>RT</sub>	0.913	$-0.02 \pm 1.88$	-3.72	3.69	7.41
IOP <sub>NCT</sub>	0.773	$-0.15 \pm 2.76$	-5.57	5.26	10.83

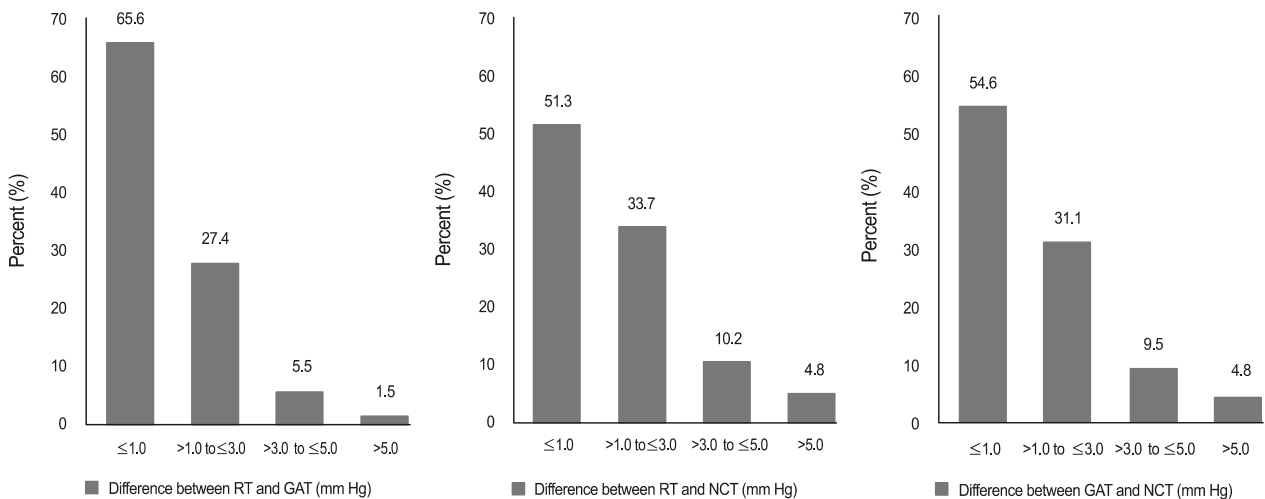
IOP = intraocular pressure; IOP<sub>NCT</sub> = IOP measurement of a noncontact tonometer; IOP<sub>RT</sub> = IOP measurement of a Icare rebound tonometer; IOP<sub>GAT</sub> = IOP measurement of a Goldmann applanation tonometer; CCT = central corneal thickness; SD = standard deviation; LoA = limits of agreement; Lower LoA = mean -  $1.96 \times$  SD; Upper LoA = mean +  $1.96 \times$  SD; Width of LoA = upper LoA-lower LoA.

은 경우는 65.6%였고 비접촉 안압과 골드만 안압의 차이가 1 mmHg보다 작은 경우는 54.6%였다. 리바운드 안압과 골드만 안압의 차이가 3 mmHg보다 큰 경우는 7%였고, 비접촉 안압과 골드만 안압의 차이가 3 mmHg보다 큰 경우는 14.3%였고 리바운드 안압과 비접촉 안압의 경우에는 15.0%에서 관찰되었다(Fig. 3).

골드만 안압을 기준으로 저안압군(안압 $\leq$ 10 mmHg), 정상 안압군(10<안압 $\leq$ 21 mmHg), 고안압군(안압 $\geq$ 21 mmHg)의 3그룹으로 나누었을 때, 저안압군에서는 비접촉 안압이 가장 높게 측정되었으며 골드만 안압, 리바운드 안압 순이었고, 정상 안압군에서는 비접촉 안압이 가장 높게 측정되었으며 리바운드 안압, 골드만 안압 순이었다. 하지만 고안압군에서는 골드만 안압이 가장 높게 측정되었으며 리바운드 안압, 비접촉 안압 순이었다. 저안압군과 정상 안압군에서는 비접촉 안압이 가장 높게 측정되었으나 고안압군에서는 반대로 비접촉 안압이 가장 낮게 측정되었으며 골드만

안압과 리바운드 안압은 거의 유사한데 반해 비접촉 안압은 다른 안압계로 측정된 안압과 2.7 mmHg 이상의 차이를 보였다. 골드만 안압과 리바운드 안압의 상관계수는 모두 유의하게 나타났으나 정상 안압군( $r^2=0.811$ )과 고안압군( $r^2=0.797$ )에서 높은 상관계수를 보였고 저안압군( $r^2=0.506$ )에서는 다소 낮은 상관계수를 보였다(Table 3).

중심각막두께를 기준으로 얇은 각막군(CCT $<553.6$   $\mu$ m)과 두꺼운 각막군(CCT $\geq 553.6$   $\mu$ m) 두 그룹으로 나누었을 때 골드만 안압, 리바운드 안압, 비접촉 안압 모두 두꺼운 각막군에서 높게 측정되었다. 얇은 각막군에서는 골드만 안압, 비접촉 안압, 리바운드 안압 순으로 높게 측정되었고(각각  $13.7 \pm 4.2$ ,  $13.6 \pm 3.5$ ,  $13.4 \pm 4.3$  mmHg), 두꺼운 각막군에서는 비접촉 안압, 리바운드 안압, 골드만 안압 순으로 높게 측정되었다(각각  $16.29 \pm 3.5$ ,  $16.28 \pm 4.4$ ,  $15.9 \pm 4.2$  mmHg). 하지만 골드만 안압과 리바운드 안압의 차이값은 각막이 얇은 군보다 두꺼운 군에서 더 유의한



**Figure 3.** Frequency distribution of differences between rebound tonometer, Goldmann applanation tonometer, and noncontact tonometer measurements.

**Table 3.** Comparison of the IOP measurements of Icare® rebound tonometer, Goldmann applanation tonometer, and noncontact tonometer and the mean differences of each tonometers between low IOP, medium IOP, and high IOP by GAT

Tonometry	IOP $\leq$ 10 mm Hg (n = 36)			10 < IOP < 21 mm Hg (n = 218)			IOP $\geq$ 21 mm Hg (n = 19)		
	GAT	RT	NCT	GAT	RT	NCT	GAT	RT	NCT
Mean IOP $\pm$ SD	9.3 $\pm$ 1.1	9.2 $\pm$ 2.1	10.9 $\pm$ 2.1	14.5 $\pm$ 2.4	14.5 $\pm$ 3.0	14.7 $\pm$ 2.6	25.7 $\pm$ 4.9	25.4 $\pm$ 4.0	22.6 $\pm$ 4.6
Range	6.0-10.0	6.0-18.0	7.0-16.0	11.0-20.0	8.0-21.0	2.0-23.0	21.0-36.0	20.0-33.0	18.0-35.0
Mean IOP <sub>RT</sub> - IOP <sub>GAT</sub> *	-0.10 $\pm$ 1.78 (p = 0.75)			0.05 $\pm$ 1.78 (p = 0.66)			-0.37 $\pm$ 2.97 (p = 0.60)		
Mean IOP <sub>RT</sub> - IOP <sub>NCT</sub> *	-1.67 $\pm$ 2.26 (p < 0.0001)			-0.15 $\pm$ 2.21 (p = 0.32)			2.74 $\pm$ 3.19 (p = 0.002)		
Mean IOP <sub>GAT</sub> - IOP <sub>NCT</sub> *	-1.57 $\pm$ 1.69 (p < 0.0001)			-0.20 $\pm$ 2.13 (p = 0.16)			3.11 $\pm$ 5.44 (p = 0.02)		
IOP <sub>GAT</sub> & IOP <sub>RT</sub> †	0.506 (p < 0.0001)			0.811 (p < 0.0001)			0.797 (p < 0.0001)		

IOP = intraocular pressure; GAT = Goldmann applanation tonometer; IOP<sub>NCT</sub> = IOP measurement of a noncontact tonometer; IOP<sub>RT</sub> = IOP measurement of a Icare rebound tonometer; IOP<sub>GAT</sub> = IOP measurement of a Goldmann applanation tonometer; CCT = central corneal thickness.

\*Mean difference of IOPs measured by two tonometers; †Correlation of IOP by Goldmann applanation tonometer and IOP by rebound tonometer (pearson correlation analysis).

차이를 보였다( $0.29 \pm 1.70$ ,  $-0.41 \pm 2.05$ ,  $p=0.002$ ). 골드만 안압과 리바운드 안압과의 상관계수는 얇은 각막군 ( $r^2=0.921$ ,  $p=0.03$ )에서 더 높았으나 비접촉 안압과의 상관계수는 각막 두께에 상관없이 리바운드 안압보다 낮았고 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Table 4).

각 안압계로 측정된 안압을 중심각막두께에 따라 비교하면 골드만 안압은 중심각막두께가 증가할수록 증가하는 양상을 보였으며( $r^2=0.057$ ,  $p<0.001$ ), 리바운드 안압 또한 중심각막두께가 증가함에 따라 증가하는 양상을 보였다( $r^2=0.104$ ,  $p<0.001$ ). 각막 두께가  $10 \mu\text{m}$  증가할수록 골드만 안압의 경우에는  $0.27 \text{ mmHg}$  ( $Y=-0.24+0.027 \times X$ ), 리바운드 안압은  $0.39 \text{ mmHg}$  ( $Y=-6.63+0.039 \times X$ ) 높게 측정되었다(Fig. 4).

골드만 안압이  $21 \text{ mmHg}$  이상인 환자에서 리바운드 안

압도  $21 \text{ mmHg}$  이상인 경우는 19안 중 18안에서 관찰되었고, 골드만 안압이  $21 \text{ mmHg}$  미만인 환자에서 리바운드 안압도  $21 \text{ mmHg}$  미만인 경우는 254안 중 250안에서 관찰되었다. 골드만 압평안압계를 기준으로 했을 때, 리바운드 안압계의 감수성은 94.7%이고, 특이성은 98.4%였다.

## 고 찰

안압의 정확한 측정은 안과를 내원하는 환자들의 기본적인 검사로 중요하며 특히 고안압증이나 녹내장 환자에서는 진단 및 치료의 효과 판단 등에 더욱 중요하다.<sup>1</sup>

다양한 안압 측정의 방법이 소개되고 있지만 현재까지 가장 정확한 방법으로 알려져 있는 것은 골드만 압평안압

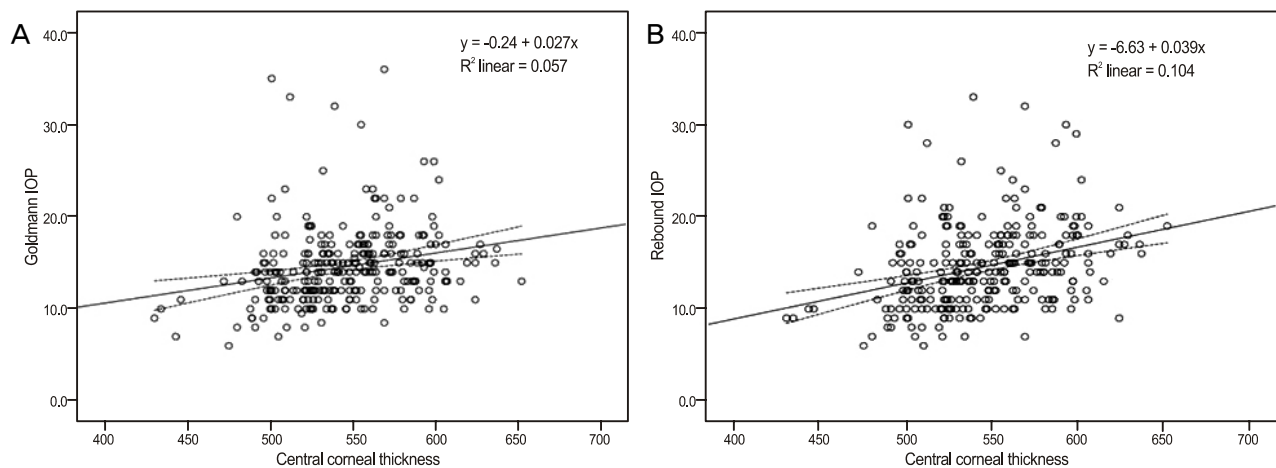
**Table 4.** Comparison of the IOP measurements of Icare® rebound tonometer, Goldmann applanation tonometer, and noncontact tonometer and the mean differences of each tonometers between thinner CCT group and thicker CCT group

	CCT < 553.6 $\mu\text{m}$ (n = 160)	CCT $\geq 553.6 \mu\text{m}$ (n = 113)	p-value*
CCT	519.4 $\pm$ 23.0	581.6 $\pm$ 21.6	<0.001
IOP <sub>GAT</sub>	13.7 $\pm$ 4.2	15.9 $\pm$ 4.2	<0.001
IOP <sub>RT</sub>	13.4 $\pm$ 4.3	16.3 $\pm$ 4.4	<0.001
IOP <sub>NCT</sub>	13.6 $\pm$ 3.5	16.3 $\pm$ 3.5	<0.001
Mean IOP <sub>RT</sub> - IOP <sub>GAT</sub>	-0.29 $\pm$ 1.70	0.41 $\pm$ 2.05	0.002
Mean IOP <sub>RT</sub> - IOP <sub>NCT</sub>	-0.26 $\pm$ 2.33	-0.01 $\pm$ 2.69	0.17
Mean IOP <sub>GAT</sub> - IOP <sub>NCT</sub>	0.03 $\pm$ 2.39	-0.42 $\pm$ 2.94	0.19
IOP <sub>GAT</sub> & IOP <sub>RT</sub> <sup>†</sup>	0.921 (p = 0.03)	0.887 (p = 0.04)	
IOP <sub>GAT</sub> & IOP <sub>NCT</sub> <sup>†</sup>	0.818 (p = 0.17)	0.723 (p = 0.97)	

Values are presented as mean  $\pm$  SD.

IOP = intraocular pressure; GAT = goldmann applanation tonometer; NCT = noncontact tonometer; CCT = central corneal thickness; IOP<sub>GAT</sub> = IOP measurement of a Goldmann applanation tonometer; IOP<sub>RT</sub> = IOP measurement of a Icare rebound tonometer; IOP<sub>NCT</sub> = IOP measurement of a noncontact tonometer.

\*Statistical significance was tested by independent paired t-test; <sup>†</sup>Correlation between the IOP measurements of two tonometers by pearson correlation analysis.



**Figure 4.** Scatterplots showing the relationship between central corneal thickness and IOP value of Goldmann applanation tonometer ( $R^2 = 0.057$ ,  $p < 0.001$ ) (A), IOP values of rebound tonometer ( $R^2 = 0.104$ ,  $p < 0.001$ ) (B).

계이고 현재 가장 널리 사용되고 있다.<sup>12,13</sup> 하지만 골드만 압평안압계의 측정을 위해서는 측정 전 점안 마취가 필요하고 각막의 기기와 접촉으로 인한 감염성 안질환 전파 등의 위험성이 있으며 세극등 현미경에 부착되어 있어 거동이 불편한 환자나 소아에서 안압의 측정이 어렵고, 숙련된 검사자에 의해서만 검사치의 재현성이나 정확성이 보장되기 때문에 집단검진을 목적으로 한 사용에 한계가 있는 검사이다. 또한 각막의 일정한 면적을 편평하게 만드는데 필요한 힘을 안압으로 측정하기 때문에 고도 난시, 각막혼탁, 불규칙한 각막 표면 또는 각막 표면의 수분함유를 변화시키는 경우 등의 각막 상태에 따른 오차가 발생할 수 있다.<sup>14,15</sup>

그에 반해 자동 비접촉 안압계는 다른 종류의 압평안압계와 같이 Imbert-Fick 법칙을 적용한 것으로, 각막 중심에 공기를 분사하여 반사되는 빛이 최대가 되는 지점을 압평안압으로 기록한다. 점안마취가 불필요하며 각막에 대한 접촉이 없기 때문에 감염의 위험이 적고 측정 시간이 짧고 간편하다는 장점이 있으나 맥압이나 눈물의 영향을 크게 받아 2-3 mmHg 정도의 오차가 발생할 수 있는 단점이 있다.<sup>16,17</sup> 환자 각막에 직접 접촉되지 않고 공기압을 이용하여 안압을 측정하기 때문에 감염의 위험성이 낮고, 점안 마취가 필요하지 않으며 검사가 다소 간편하다는 장점이 있으나 부정확한 안압 측정으로 인해 검진이나 진료 전 간소한 안압 측정의 목적으로 주로 시행하고 있으나, 자동 비접촉 안압계가 골드만 압평안압계를 대신할 수는 없다.<sup>18</sup>

리바운드 안압계는 2000년에 처음으로 동물실험에서 그 효용성과 신뢰성이 입증되었다.<sup>19,20</sup> 작고 가벼우며 세극등 현미경이 필요치 않고, 휴대가 가능하며 사용법이 간단하여 검사가 용이하다. 또한 점안마취제가 필요하지 않아 환자의 불편감이 적고 앉은 상태에서도 시행할 수 있기 때문에 세극등현미경으로 이동하기 힘든 환자에서도 편안한 자세에서 시행할 수 있는 장점이 있다.<sup>8,21</sup> 또한 탐침은 일회용이기 때문에 감염의 위험성이 적고, 말단부의 직경이 1 mm 정도 이므로 원추각막, 각막부종, 각막궤양, 각막혼탁 등의 각막 질환이 있는 경우에도 사용될 수 있다.<sup>14,15</sup>

본 연구는 한국인을 대상으로 골드만 안압을 기준으로 하여 리바운드 안압과 비접촉 안압과 비교하였다. 각 안압계로 측정한 평균 안압은 비접촉 안압이 가장 높았으며, 리바운드 안압, 골드만 안압 순이었다. 리바운드 안압과 골드만 안압과의 차이는 비접촉 안압보다 더 작게 나타나 리바운드 안압이 골드만 압평안압계로 측정한 값에 더 가깝다는 것을 보여준다. 다른 연구에서는 골드만 안압과 리바운드 안압의 차이를 0.50 mmHg에서 2.00 mmHg로 다양하게 보고하였는데 본 연구에서는 그보다 작은 수치인  $0.02 \pm 1.88$  mmHg를 보여 거의 일치함을 알 수 있다(Table 1).<sup>6,15,22,23</sup>

본 연구에서는 리바운드 안압과 골드만 안압과의 차이를 보여주는 Bland-Altman plot의 95% 신뢰구간은 비접촉 안압과 골드만 안압 차이의 신뢰구간보다 더 좁게 나타나 (7.41 mmHg vs 10.83 mmHg) 리바운드 안압계와 골드만 압평안압계 간의 상관성이 비접촉 안압계보다 더 높다는 것을 보여준다. 이전의 연구에서 골드만 안압과 리바운드 안압의 차이는 8.9 mmHg에서 11 mmHg 정도의 95% 신뢰구간을 보였다.<sup>6,9,15</sup>

리바운드 안압은 골드만 안압과 높은 상관관계를 보였으며, 이는 안압이 10 mmHg 초과인 그룹, 얇은 각막을 가진 그룹에서 더 높은 상관계수를 보였다. 특히 비접촉 안압이 21 mmHg 이상의 고안압군에서는 정확도가 떨어지는데 반해 고안압 환자에서도 리바운드 안압은 정확하게 측정되어 이러한 환자들에서 리바운드 안압계를 사용했을 경우 골드만 압평안압계에 더 가까운 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 비접촉 안압은 골드만 안압과 유의한 상관관계를 보이는 하나 절대치의 차이가 리바운드 안압보다 크기 때문에 골드만 안압을 직접적으로 대신할 수는 없을 것이다. 실제 임상에서는 정상 안압을 보이는 경우보다는 고안압증이거나 녹내장 환자들에 있어서 정확한 안압의 측정이 더욱 중요하기 때문에 리바운드 안압계의 사용은 비접촉 안압계보다 효용이 클 것으로 생각한다. 하지만 안압이 10 mmHg 이하의 저안압증의 환자에서는 골드만 안압계와의 상관관계가 저하되기 때문에 저안압 환자의 안압을 측정할 시에는 이를 고려해야 할 것으로 생각한다.

각 측정 안압의 차이값은 양수 또는 음수로 나타나기 때문에 그것의 평균값을 구하면 서로 상쇄가 되어 각 안압의 차이값보다 작게 나타날 수 있다(예를 들어 2명의 환자에서 안압계들의 측정 안압이 -1 mmHg, +1.5 mmHg 차이가 난다면 평균 차이값은 +0.25 mmHg가 되어 차이가 적게 나는 것처럼 보이나, 실제 차이값의 절대치를 평균으로 구하면 1.25 mmHg 차이가 나는 것이다). 그래서 측정 안압의 차이값의 절대치만을 고려하여 얼마나 차이가 나는가를 조사해보면 리바운드 안압과 골드만 안압에서는 1 mmHg 이내의 차이를 보이는 경우가 65.6%, 3 mmHg 이내의 차이를 보이는 경우는 93%였다. 리바운드 안압과 비접촉 안압에서는 각각 51.3%, 85%이고 골드만 안압과 비접촉 안압에서는 각각 54.6%, 85.7%였다. 또한 3 mmHg를 초과하여 측정안압의 차이를 보이는 경우는 리바운드 안압과 골드만 안압의 경우는 7%, 리바운드 안압과 비접촉 안압의 경우 15%, 골드만 안압과 비접촉 안압의 경우 14.3%였다. 이것은 측정 안압이 경계선에 있는 경우에 진단 오류를 불러올 가능성이 리바운드 안압계가 비접촉 안압계보다 적다는 것이고 골드만 안압에 더 가까운 값을 보

여준다는 것을 시사한다. 예를 들어 측정 안압이 20 mmHg 경계에 있을 경우 리바운드 안압계로 측정하는 경우 100명 중 7명 정도가 고안압증으로 잘못 진단될 가능성이 있으나 비접촉 안압계의 경우에는 100명 중 14명 이상에서 잘못 진단될 가능성이 있다.

리바운드 안압계는 각막에서 충돌 후 반동되는 속도를 이용하여 안압을 측정하기 때문에 골드만 압평안압계와 마찬가지로 중심각막두께의 영향을 받는다.<sup>8</sup> 선형회귀분석에서 골드만 안압과 리바운드 안압이 중심각막두께의 영향을 받음을 알 수 있고 이들의 상관관계는 골드만 안압보다는 리바운드 안압에서 더 높게 나타났다(Fig. 4). 두꺼운 각막에서는 두 기기 모두에서 안압이 높게 측정되었으며, 얇은 각막에서는 모두 낮게 측정되었고, 각막 두께가 10  $\mu$ m 변할 때 골드만 안압의 경우에는 0.27 mmHg, 리바운드 안압은 0.39 mmHg의 차이를 보였다. 이전의 다른 연구에서는 리바운드 안압이 10  $\mu$ m당 0.7 mmHg의 변화값을 보여 본 연구보다 더 큰 차이를 보였다.<sup>8</sup> 골드만 안압과 리바운드 안압의 상관성이 두꺼운 각막에서 다소 낮은 이유는 리바운드 안압이 각막 두께의 영향을 더욱 많이 받기 때문일 것으로 생각한다. 본 연구에서 보여지는 중심각막두께에 따른 리바운드 안압의 변화치를 고려하여 교정된 리바운드 안압의 수치는 중심각막두께에 따른 측정 안압치의 오차를 감소시켜 녹내장의 진단과 치료 및 경과관찰에 도움이 될 것이다.

이전 연구에서 리바운드 안압계는 중심각막두께보다는 각막이력현상(corneal hysteresis)이나 각막저항인자(corneal resistance factor)의 영향을 더 받는다는 견해도 있었다.<sup>24</sup> 한국인에서 리바운드 안압계의 정확성과 효용성을 평가하기 위해서는 각막이력현상 또는 각막저항인자를 포함하여 각막굴절수술의 이력이나 각막굴절력, 안축장 길이 등의 안구의 형태학적 변수들을 고려한 추가적인 연구가 더 필요할 것으로 생각한다. 또한 리바운드 안압계가 중심 각막에서만 측정할 수 있는 것은 아니고 주변부 각막에서도 측정이 가능하기 때문에 원추각막이나 중심부 각막 혼탁, 각막 부종이 있는 환자에서의 안압 측정에 사용될 수 있어 이에 대한 연구도 필요할 것으로 생각한다.

결론적으로 한국인을 대상으로 한 연구에서 리바운드 안압계로 측정한 안압은 골드만 압평안압계로 측정한 안압과 거의 유사한 값을 보이고 비접촉 안압계로 측정한 안압보다는 골드만 압평안압계와 더 큰 상관관계를 보였다. 리바운드 안압계는 점안 마취가 필요치 않는 덜 침습적인 검사로 일반검진 또는 집단검진 시에도 정확한 안압을 측정할 수 있게 하고, 거동이 불편한 환자나 소아에서도 사용할 수 있어 임상적으로 유용하게 사용할 수 있다. 하지만 리바운

드 안압계는 중심각막두께에 따라 측정치가 변화할 수 있고 저안압증 환자에서 다소 부정확하기 때문에 정확한 안압의 해석 및 진단, 치료의 경과 관찰 등을 위해서는 중심각막두께와 환자의 안압 상태의 영향을 반드시 고려해야 할 것으로 생각한다.

## 참고문헌

- 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 Experiment Ophthalmol* 2002;30:242-7.
- Johnson M, Kass MA, Moses RA, Grodzki WJ. Increased corneal thickness simulating elevated intraocular pressure. *Arch Ophthalmol* 1978;96:664-5.
- Stodtmeister R. Applanation tonometry and correction according to corneal thickness. *Acta Ophthalmol Scand* 1998;76:319-24.
- 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.
- Nakamura M, Darhad U, Tatsumi Y, et al. Agreement of rebound tonometer in measuring intraocular pressure with three types of applanation tonometers. *Am J Ophthalmol* 2006;142:332-4.
- 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.
- 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.
- Brusini P, Salvatet ML, Zeppieri M, et al. Comparison of ICare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. *J Glaucoma* 2006;15:213-7.
- 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.
- Flemmons MS, Hsiao YC, Dzau J, et al. Icare rebound tonometry in children with known and suspected glaucoma. *J AAPOS* 2011;15:153-7.
- Lee ES, Kim CY, Ha SJ, et al. Central corneal thickness of Korean patients with glaucoma. *Ophthalmology* 2007;114:927-30.
- Dielemans I, Vingerling JR, Hofman A, et al. Reliability of intraocular pressure measurement with the Goldmann applanation tonometer in epidemiological studies. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1994;32:141-4.
- Wessels IF, Oh Y. Tonometer utilization, accuracy, and calibration under field conditions. *Arch Ophthalmol* 1990;108:1709-12.
- Moreno-Montañés J, Gosende I, Caire J, García-Granero M. Comparison of the new rebound tonometer IOPen and the Goldmann tonometer, and their relationship to corneal properties. *Eye (Lond)* 2011;25:50-6.
- Moreno-Montañés J, García N, Fernández-Hortelano A, García-Layana A. Rebound tonometer compared with goldmann tonometer in normal and pathologic corneas. *Cornea* 2007;26: 427-30.
- Ahn SK, Kim BH, Cho HK, Shyn KH. Comparison between intraocular pressures measured by non-contact tonometer and gold-

- mann applanation tonometer. J Korean Ophthalmol Soc 1994;35:700-3.
- 17) Forbes M, Pico G Jr, Grolman B. A noncontact applanation tonometer. Description and clinical evaluation. Arch Ophthalmol 1974;91:134-40.
- 18) Koçak I, Orgül S, Saruhan A, et al. Measurement of intraocular pressure with a modern noncontact tonometer. Ophthalmologica 1998;212:81-7.
- 19) Kontiola AI. A new induction-based impact method for measuring intraocular pressure. Acta Ophthalmol Scand 2000;78:142-5.
- 20) Kontiola AI, Goldblum D, Mittag T, Danias J. The induction/impact tonometer: a new instrument to measure intraocular pressure in the rat. Exp Eye Res 2001;73:781-5.
- 21) Abraham LM, Epasinghe NC, Selva D, Casson R. Comparison of the ICare rebound tonometer with the Goldmann applanation tonometer by experienced and inexperienced tonometrists. Eye (Lond) 2008;22:503-6.
- 22) Rehnman JB, Martin L. Comparison of rebound and applanation tonometry in the management of patients treated for glaucoma or ocular hypertension. Ophthalmic Physiol Opt 2008;28:382-6.
- 23) Davies LN, Bartlett H, Mallen EA, Wolffsohn JS. Clinical evaluation of rebound tonometer. Acta Ophthalmol Scand 2006;84:206-9.
- 24) Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. Ophthalmology 2008;115:80-4.

=ABSTRACT=

## Comparison of Rebound Tonometer, Non-Contact Tonometer, Goldmann Applanation Tonometer and the Relationship to Central Corneal Thickness

Juhyang Lee, MD, Mincheol Seong, MD, Minho Kang, MD, Heeyoon Cho, MD, Yoonjung Lee, MD

*Department of Ophthalmology, Hanyang University Guri Hospital, Hanyang University College of Medicine, Guri, Korea*

**Purpose:** To compare the level of accuracy of intraocular pressure (IOP) measurements of a rebound tonometer (RT) Icare®, and non-contact tonometer (NCT), using Goldmann Applanation tonometer (GAT) as a reference to evaluate the influence of central corneal thickness (CCT) on IOP readings in the Korean population.

**Methods:** In a prospective study of 273 eyes, IOP was measured with RT, GAT, and NCT and compared to CCT measurements. Patients were assigned to one of 3 groups based on IOP measurements of GAT and 1 of 2 groups based on CCT. The comparison of the IOP values of RT, GAT, and NCT was performed between the IOP and CCT groups, and the differences among tonometers were evaluated.

**Results:** The RT showed statistically significant correlation with the GAT compared to the NCT. The CCT was related to RT measurements. The RT values compared to the GAT was underestimated in thin corneas and overestimated in thick corneas.

**Conclusions:** There was a significant correlation between the RT and the GAT measurements compared with the NCT. However, RT is influenced by CCT and correlates less with GAT in low IOP ranges, suggesting that corneal thickness should be taken into consideration during such measurements.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(7):988-995

**Key Words:** Central corneal thickness, Goldmann applanation tonometer, Non-contact tonometer, Rebound tonometer

---

Address reprint requests to **Mincheol Seong, MD**  
Department of Ophthalmology, Hanyang University Guri Hospital  
#153 Gyeongchun-ro, Guri 471-701, Korea  
Tel: 82-31-560-2350, Fax: 82-31-564-9479, E-mail: goddns76@hanmail.net