

Icare Rebound Tonometer와 Goldmann 압평 안압계의 비교

이 국 · 이지영 · 문정일 · 박명희

가톨릭대학교 의과대학 안과 및 시과학교실

목적: Icare Rebound Tonometer (IRT)와 Goldmann 압평 안압계(GAT)로 측정한 안압을 비교하여 두 안압계로 측정한 안압 사이의 상관 관계 및 임상적인 유용성에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 녹내장 및 녹내장 의증 환자 131명을 대상으로 IRT와 GAT를 이용하여 측정된 안압을 비교하고 굴절 이상 및 중심각막두께가 미치는 영향을 분석하였다.

결과: IRT로 측정한 안압과 GAT로 측정한 안압 사이에는 뚜렷한 양의 상관관계를 보였으며 GAT로 측정한 안압이 IRT로 측정한 안압에 비해 평균 2.23 ± 3.16 mmHg 높았다. 중심각막두께가 두꺼울수록 GAT로 측정한 안압은 높게 측정되었으며 IRT를 이용하여 측정시에도 역시 높게 측정되었다. GAT로 안압 측정시 구면대응치 -5 디옵터 이상의 근시안에서 나머지 안에 비해 $+1.50 \pm 0.68$ mmHg 낮게 측정되었고, IRT로 측정시에도 $+1.88 \pm 0.75$ mmHg 낮게 측정되었다.

결론: IRT는 GAT와 높은 상관관계를 보였으나 2 mmHg 정도 낮게 측정되었고 중심각막두께가 얇을수록, 근시 도수가 높을수록 낮게 측정될 수 있음을 고려해야 할 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2013;54(2):296-302〉

안압의 측정은 안과 환자에게 기본적으로 시행되는 검사 중의 하나로 특히 녹내장 환자에게 있어서 안압의 측정은 녹내장의 진단과 치료효과의 판정에 있어 가장 중요한 평가 항목 중의 하나이다.¹

Goldmann 압평 안압계는 현재 임상적으로 가장 널리 사용되고 있는 방법으로 비교적 정확한 안압을 측정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 측정 원리가 일정한 면적의 중심 각막을 편평하게 만드는데 필요한 압력을 측정하는 것으로 각막에 직접 접촉하여 안압을 측정해야 하기 때문에 점안 마취가 필요하고 각막의 중앙에 병변이 있는 경우 정확한 측정이 어려우며 전염성 질환의 전파 가능성이 있고 세극 등이 없는 곳에서는 측정이 불가능하고 앉은 자세에서만 측정이 가능하다는 점 등의 여러 가지 한계점이 있다.²⁻⁴

Icare Rebound Tonometer (Tiolat Oy, Helsinki, Finland)는 프로브가 환자의 각막에 튕겨 나오면서 만들어내는 진류

를 분석하여 안압을 측정하는 안압계로 무게 약 250 g의 한 손에 쥌 수 있는 정도의 크기로 휴대성에서 간편하며 환자의 자세와 무관하게 세극등이 없는 곳에서도 측정할 수 있고 점안 마취가 필요 없다는 등의 장점을 지니고 있다.⁵⁻⁷

이전의 여러 연구에서 Goldmann 압평 안압계의 한계점을 보완하기 위해 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압과 각각의 연구에서 사용된 안압계로 측정한 안압을 비교한 보고들이 있어왔다.⁸⁻¹¹ Icare Rebound Tonometer 역시 이러한 Goldmann 압평 안압계의 단점을 보완할 수 있는 안압계 중 하나로 평가되고 있으나 국내에서는 아직까지 Icare Rebound Tonometer에 대한 연구가 보고되지 않았다.

이번 연구에서는 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압과 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압을 비교하여 두 안압계로 측정한 안압 사이의 상관 관계 및 임상적인 유용성에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법

2011년 5월 28일부터 2011년 6월 16일까지 본원을 방문한 일차성개방각녹내장(38명), 정상안압녹내장(34명), 폐쇄각녹내장(9명), 녹내장의증(35명), 고안압증(9명), 이차성녹내장(4명), 선천성녹내장(1명), Posner-Schlossman Syndrome (1명) 총 131명 환자를 대상으로 연구를 시행하

■ 접수 일: 2011년 12월 5일 ■ 심사통과일: 2012년 5월 4일
■ 게재허가일: 2012년 8월 25일

■ 책임저자: 박명희

서울특별시 영등포구 63로 10
가톨릭대학교 여의도성모병원 안과
Tel: 02-3779-1243, Fax: 02-3775-1245
E-mail: marypark@catholic.ac.kr

* 이 논문의 요지는 2011년 대한안과학회 제106회 학술대회에서 구연으로 발표되었음.

였다. 각 환자 당 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압, Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압, 중심각막두께, 굴절검사, 세극등 현미경 검사 결과를 후향적 의무기록 분석을 통해 조사하였다. 상기 검사를 불충분하게 시행하여 충분한 정보가 제공되지 않은 환자, 안진이 있거나 협조가 안되어 안압 측정의 정확도가 떨어질 것으로 생각되는 환자, 수포성 각막병증 등의 각막질환이 있는 환자는 대상에서 제외하였다.

Icare Rebound Tonometer에 의한 안압은 한 명의 동일한 검사자(JYL)에 의해 측정되었으며 점안마취 없이 앉은 자세로 정면을 주시한 상태에서 측정하였다. Icare Rebound Tonometer의 계측 화면에 나타나는 6회 측정 평균값의 표준편차가 정상 범주일 때(계측 화면에 p 가 깜빡이거나 대쉬가 나타나지 않을 때)의 수치를 채택하였다. Goldmann 압평 안압계에 의한 안압 역시 한 명의 동일한 검사자(MHP)에 의해 측정되었으며 0.5% Proparacaine으로 점안마취하고 플루오레신으로 염색한 후 눈깜빡임을 유도하였고 두 차례 안압 측정 후 평균값으로 수치를 기록하였다. 모든 환자는 먼저 Icare Rebound Tonometer로 안압을 측정한 후 Goldmann 압평 안압계로 안압을 측정하였으며 이는 압평 안압계에 의한 각막 형태 변화 등의 오류를 최소화하기 위함이었다.

중심각막두께는 초음파각막두께측정계(Pachymeter, ultrasonic, NIDEK)를 이용해 동일한 검사자에 의해 측정되었다.

통계학적 분석은 SPSS (IBM SPSS Statistics version 19)를 이용하여 대응표본 T검정 및 상관분석, 회귀분석을 시행하였다. 모든 환자에서 양안의 안압을 측정하였으나 통계 분석에서는 우안 또는 단안 환자의 경우 시력이 남아있는 눈의 안압만을 사용하였다. Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압과 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압 사이의 상관관계, 두 안압계로 측정한 안압과 중심각막두께와의 상관관계, 두 안압계로 측정한 안압의 차이와 중심각막두께와의 상관관계 등에 대해 조사하였고 각각의 모든 경우에 p -value < 0.05 인 경우를 통계적으로 의미 있는 것으로 간주하였다.

결 과

대상환자 131명 중 남자는 55명, 여자 76명이었고 나이는 평균 55.53 ± 15.26 세(8-87세)였다. 중심각막두께의 평균은 $538.60 \pm 44.94 \mu\text{m}$ (275.00 - $644.00 \mu\text{m}$)였고 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 평균은 $16.21 \pm 4.13 \text{ mmHg}$ (9.00 - 37.00 mmHg), Icare Rebound Tonometer로 측정

한 안압의 평균은 $13.98 \pm 4.41 \text{ mmHg}$ (6.00 - 35.00 mmHg)로 나타났다. 두 안압계로 측정한 안압 사이에는 뚜렷한 양의 상관관계를 보였으며($r=0.728$, $p<0.001$), Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압이 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압에 비해 평균 $2.23 \pm 3.16 \text{ mmHg}$ 낮게 측정되는 것으로 나타났다($p<0.001$) (Fig. 1). 두 안압계로 측정한 안압의 평균과 안압의 차이를 가지고 분석한 Bland-Altman plot 결과에서는 95% 신뢰구간에 131안 중 125안이 속해 있었다(95.42%) (Fig. 2).

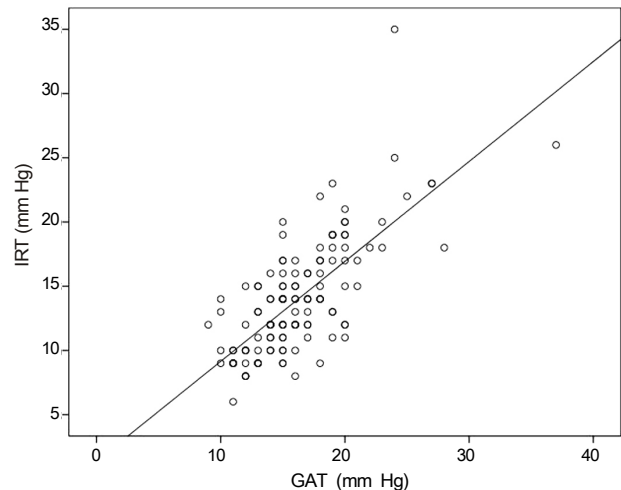


Figure 1. Correlation of IOP obtained by GAT and IRT ($r = 0.728$, $p < 0.001$). IOP = intraocular pressure; GAT = goldmann applanation tonometer; IRT = Icare Rebound Tonometer.

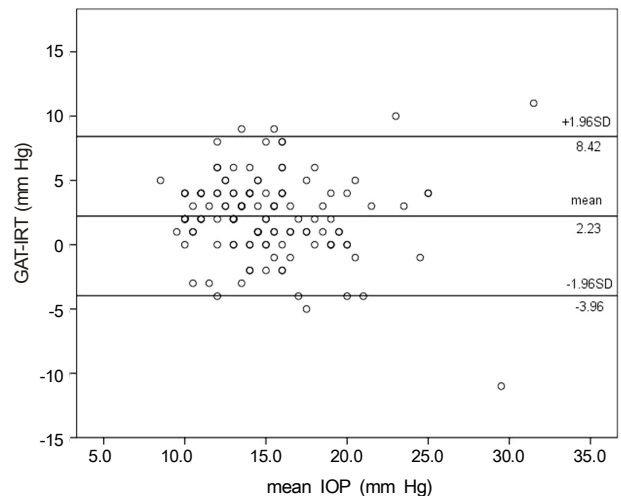


Figure 2. Bland-Altman plot. The differences between IOP obtained by GAT and IRT (GAT measurement minus IRT measurement) are plotted against the mean of the two measurements. IOP = intraocular pressure; GAT = goldmann applanation tonometer; IRT = Icare Rebound Tonometer; SD = standard deviation.

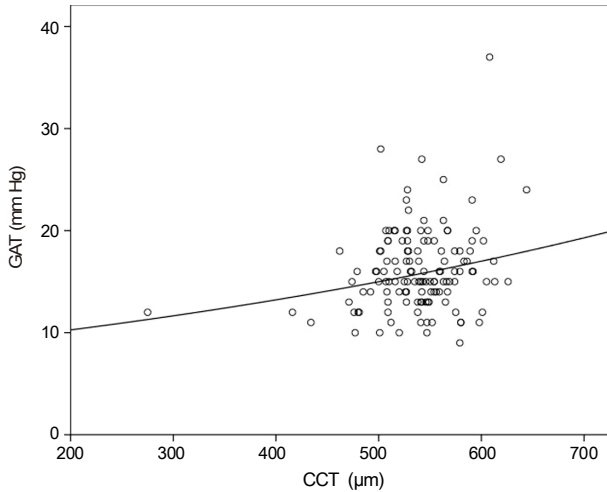


Figure 3. Scatter plot of CCT versus IOP obtained by GAT ($r = 0.242$, $p = 0.005$). CCT = central corneal thickness; IOP = intraocular pressure; GAT = goldmann applanation tonometer.

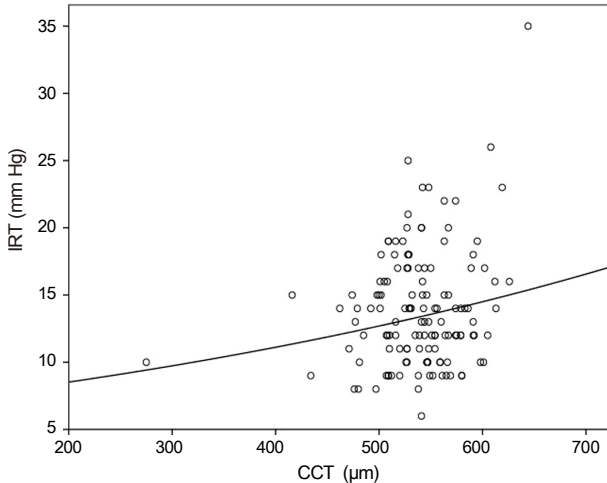


Figure 4. Scatter plot of CCT versus IOP obtained by IRT ($r = 0.224$, $p = 0.010$). CCT = central corneal thickness; IOP = intraocular pressure; IRT = Icare Rebound Tonometer.

중심각막두께와 측정된 안압과의 상관관계를 분석한 결과, 중심각막두께가 두꺼울수록 Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압이 높게 측정되는 양의 상관관계를 보였고 ($r=0.242$, $p=0.005$) (Fig. 3), Icare Rebound Tonometer로 측정된 안압 역시 중심각막두께가 두꺼울수록 높게 측정되는 양의 상관관계를 보였다($r=0.224$, $p=0.010$) (Fig. 4).

두 안압계로 측정된 안압의 차이(GAT-IRT; Δ IOP)는 총 131안 중 18안에서 음의 값, 98안에서 양의 값, 15안에서 0으로 나타났다. 중심각막두께와 Δ IOP 사이에는 유의한 상관관계를 보이지 않았다($p=0.978$) (Fig. 5). Δ IOP와 이에 영향을 줄 수 있는 나이(age), 중심각막두께, 구면대응치(spherical equivalent; SE), Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압(GAT) 간의 다중회귀분석을 시행한 결과 나이

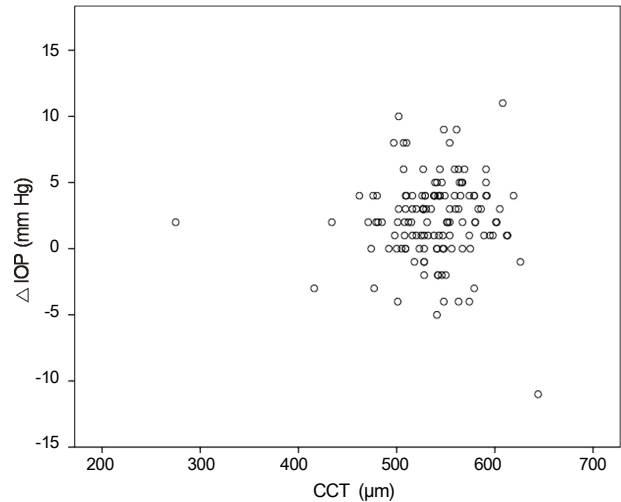


Figure 5. Scatter plot of CCT versus Δ IOP (GAT-IRT) ($r = 0.002$, $p = 0.978$). CCT = central corneal thickness; IOP = intraocular pressure; GAT = goldmann applanation tonometer; IRT = Icare Rebound Tonometer.

와 구면대응치, Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압이 두 안압계로 측정된 안압의 차이에 유의한 영향을 보이는 것으로 나타났다(Δ IOP = $-5.745 + 0.091 \times \text{age} - 0.259 \times \text{SE} + 0.163 \times \text{GAT}$, $p<0.001$).

대상안 131안 중 이전 안과적 수술의 기왕력이 없는 안은 102안이었고 나머지 29안은 최소 1차례 이상 안과적 수술을 받은 기왕력이 있었다. 라식이나 라섹 수술과 같은 굴절 수술만 받은 안이 8안, 백내장수술만 받은 안이 16안, 백내장수술과 섬유주절제술을 받은 안이 2안, 유리체절제술만 받은 안, 각막이식과 섬유주절제술을 받은 안, 백내장수술과 사시수술을 받은 안이 각각 1안에 해당하였다. 안과적 수술의 기왕력 유무에 따라 두 안압계로 측정된 안압을 비교해 본 결과 안과적 수술을 받지 않은 102안에서 Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압의 평균은 16.22 ± 3.43 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정된 안압의 평균은 14.22 ± 4.21 mmHg였고 두 안압계로 측정된 안압 사이에는 뚜렷한 상관관계를 보였으며($r=0.688$, $p<0.001$) Icare Rebound Tonometer로 측정된 안압이 Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압에 비해 2.00 ± 3.01 mmHg 낮게 측정되었다($p<0.001$). 최소 1차례 이상 안과적 수술을 받은 기왕력이 있는 29안에서는 Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압의 평균은 16.17 ± 6.07 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정된 안압의 평균은 13.14 ± 5.06 mmHg였고 두 안압계로 측정된 안압 사이에는 뚜렷한 상관관계를 보였으며($r=0.841$, $p<0.001$) Icare Rebound Tonometer로 측정된 안압이 Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압에 비해 3.03 ± 3.29 mmHg 낮게 측정되었다($p<0.001$). 안과적 수술의 기왕력이 있는 집단

과 없는 집단 사이에 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압은 유의한 차이를 보이지 않았고($p=0.971$) Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압 역시 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.300$).

대상안 중에서 이전에 각막굴절교정수술을 받은 8안을 제외한 123안 중 구면대응치 값이 -5디옵터(D) 이상의 근시안에 해당하는 안은 13안이었으며 이들의 평균 구면대응치는 $-7.07 \pm 1.33D$ 였고 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 평균은 15.08 ± 1.98 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압의 평균은 12.46 ± 2.18 mmHg였으며 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압이 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압에 비해 2.62 ± 2.82 mmHg 낮게 측정되었다. 구면대응치 값이 -5디옵터 이상 근시에 해당하지 않은 나머지 110안에서는 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압이 16.57 ± 4.29 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압이 14.34 ± 4.62 mmHg로 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압에 비해 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압이 2.24 ± 3.25 mmHg 낮게 측정되었다. Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 경우 구면대응치 -5디옵터 이상의 근시안이 이에 해당하지 않은 안보다 평균 1.50 ± 0.68 mmHg 정도 낮게 측정되었으며($p=0.037$) Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압도 평균 1.88 ± 0.75 mmHg 정도 낮게 측정되었다($p=0.019$).

고 찰

Icare Rebound Tonometer는 리바운드 기술(Rebound technology)을 이용한 안압 측정 기기이다. 리바운드 안압 측정 방식에서는 매우 가볍고 느리게 움직이는 탐침을 각막에 순간적으로 닿게 하여 탐침의 운동 변화량을 분석한다. 탐침이 각막에 닿을 때 탐침의 감속도는 안압에 의해 결정되는데 안압이 높을수록 탐침은 더 빠르게 감속되고 각막과의 접촉 시간도 높은 안압에서 더 짧고 낮은 안압에서 더 길다.⁵⁻⁷

녹내장 및 녹내장 의심 환자 131안을 대상으로 한 이번 연구에서 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 평균은 16.21 ± 4.13 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압의 평균은 13.98 ± 4.41 mmHg로 측정되었다. 두 안압계로 측정한 안압 사이에는 뚜렷한 상관관계를 보였으나 두 안압계로 측정한 안압의 차이가 평균 2.23 ± 3.16 mmHg 정도로 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압에 비해 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압이 높게 측정되는 것으로 나타났다. 이전에 발표된 다른 연구들에서는 대부분이 Goldmann 압평 안압계에 비해 Icare Rebound

Tonometer로 안압 측정시 높았다는 결과를 보였으며¹²⁻¹⁹ Vandewalle et al²⁰과 Abraham et al²¹의 연구 결과에서는 두 안압계로 측정한 안압 사이에 유의한 차이가 없다고 하였고 이번 연구 결과와 같이 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압이 Goldmann 압평 안압계에 비해 낮다는 보고는 Salvétat et al¹, Brusini et al²²이 있었다. Doughty and Zaman²³은 Goldmann 압평 안압계로 안압 측정시 중심각막 두께의 영향을 배제한 수정된 안압 공식(corrected GAT = measured GAT - [(CCT - 535) × (2.5/50)])을 제시한 바 있고 Brusini et al²² 발표에서 Icare Rebound Tonometer로 안압 측정시 Goldmann 압평 안압계에 비해 약 1 mmHg 정도 낮게 측정되었으나 위의 공식을 적용한 수정된 안압에 따르면 두 안압계의 차이가 0.1 mmHg 정도로 거의 동일한 수치를 보였다고 발표하였다. 본 연구에서도 위의 공식을 적용하여 수정된 Goldmann 압평 안압계 안압을 구해 비교해 보았으나 수정된 안압은 16.02 ± 4.20 mmHg로 Icare Rebound Tonometer에 비해 2.05 ± 3.87 mmHg 정도 여전히 높은 분포를 보여 기존의 연구 결과와는 다른 분석이 필요할 것으로 보였다.

안압 측정에 영향을 끼칠 수 있는 인자들 중 가장 널리 알려진 사실은 각막두께와의 연관성이다. 각막두께가 증가할수록 실제 안압보다 높게 측정되며 각막두께가 얇을수록 실제 안압보다 낮게 측정되는 결과를 보였다는 것은 여러 연구에서 나타난 사실이다.^{1,13,16} 이번 연구에서 대상안들의 중심각막두께의 평균은 538.60 ± 44.94 μ m로 측정되었고 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압이 중심각막두께가 증가할수록 높게 측정되는 상관관계를 보였다($r=0.242$, $p=0.005$). Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압 역시 중심각막두께가 증가할수록 높게 측정되는 경향을 보여($r=0.224$, $p=0.010$) Icare Rebound Tonometer를 이용해 안압을 측정할 경우에도 Goldmann 압평 안압계의 경우와 마찬가지로 중심각막두께의 영향을 고려해야 할 것으로 보였다.^{1,12,16,18,22}

전체 131안 중 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압이 22 mmHg 이상인 경우는 10안이었고 이 중 Icare Rebound Tonometer로 안압 측정시에도 22 mmHg 이상인 경우는 6안이었으며 Goldmann 압평 안압계로 측정한 결과보다 높게 나오거나 동일한 수치를 보인 경우는 2안에 불과하였다. Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압이 21 mmHg 이하의 정상 안압군과 22 mmHg 이상의 높은 안압군으로 나누어 Icare Round Tonometer로 측정한 안압과의 차이(Δ IOP)를 분석한 결과 정상 안압군에서 Δ IOP는 평균 2.15 ± 2.82 mmHg, 높은 안압군에서는 평균 3.20 ± 6.07 mmHg로 높은 안압군에서 Icare Rebound Tonometer가 더 낮게

Table 1. Comparison of intraocular pressure (IOP) measured with Goldmann applanation tonometer (GAT) and Icare rebound tonometer (IRT) between operated eyes and non-operated eyes

	Non-operated eyes (n = 102)	Operated eyes (n = 29)							p-value
		Total (n = 29)	Refractive surgery (n = 8)	K+P* (n = 16)	K+P+Trabe [†] (n = 2)	ppV [‡] (n = 1)	PPKP + Trabe [§] (n = 1)	K+P + m.op (n = 1)	
Age (years)	55.16 ± 13.51	56.83 ± 20.50							0.681
GAT (mm Hg)	16.22 ± 3.43	16.17 ± 6.07	13.00 ± 2.78	17.00 ± 6.24	10.50 ± 0.71	27.00	18.00	27.00	0.971
IRT (mm Hg)	14.22 ± 4.21	13.14 ± 5.06	11.50 ± 2.73	12.56 ± 4.79	10.00 ± 0.00	23.00	22.00	23.00	0.300
CCT (μm)	540.65 ± 36.52	531.38 ± 67.05	465.88 ± 85.56	553.38 ± 38.70	547.00 ± 0.00	542.00	574.00	619.00	0.480

Values are presented as mean ± SD.

CCT = central corneal thickness.

*Phacoemulsification and posterior chamber intraocular lens implantation; [†]Phacoemulsification and posterior chamber intraocular lens implantation and trabeculectomy; [‡]Pars plana vitrectomy; [§]Partial penetrating keratoplasty and trabeculectomy; ^{||}Phacoemulsification and posterior chamber intraocular lens implantation and muscle operation (strabismus surgery).

Table 2. Comparison of intraocular pressure (IOP) measured with Goldmann applanation tonometer (GAT) and Icare rebound tonometer (IRT) between myopic (SE ≥ -5 diopter) and relatively hyperopic (SE < -5 diopter) eyes

	SE < -5 D (n = 110)	SE ≥ -5 D (n = 13)	p-value
Age (years)	58.29 ± 14.28	45.15 ± 12.69	0.002
GAT (mm Hg)	16.57 ± 4.29	15.08 ± 1.98	0.037
IRT (mm Hg)	14.34 ± 4.62	12.46 ± 2.18	0.019
CCT (μm)	542.42 ± 37.83	551.00 ± 27.94	0.430

Values are presented as mean ± SD.

SE = spherical equivalent; CCT = central corneal thickness.

측정되는 것으로 보였으나 통계적으로는 유의한 차이는 보이지 않았다($p=0.600$). 이번 연구의 전체 결과에서는 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압과 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압이 높은 상관관계를 보이긴 했으나 녹내장 환자에서 안압이 낮은 경우보다 높은 안압을 찾아내는 것이 보다 중요한 문제라고 생각되며 Pakrou et al⁵과 Munkwitz et al²⁴의 보고에서 Icare Rebound Tonometer가 높은 범위의 안압을 측정하는 정확도가 떨어진다는 한계를 지적한 바와 같이 이러한 결과는 Icare Rebound Tonometer로 안압 측정시 고려해 볼 사항이라고 생각한다.

안과적 수술의 기왕력이 안압 측정 시에 영향을 줄 수 있는지 알아보기 위해 안과적 수술의 기왕력 유무에 따라 Goldmann 압평 안압계 및 Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압을 비교해 보았다. 전체 131안 중 안과적 수술을 받지 않은 102안에서 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 평균은 16.22 ± 3.43 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압의 평균은 14.22 ± 4.21 mmHg였고, 최소 1차례 이상 안과적 수술을 받은 기왕력이 있는 나머지 29안에서 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 평균은 16.17 ± 6.07 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압의 평균은 13.14 ± 5.06 mmHg였다. 안과적 수술의 기왕력이 있는 집단과 없는 집단 사이에 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압은 유의한 차이를 보이지 않았고($p=0.971$)

Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압 역시 유의한 차이를 보이지 않아($p=0.300$) 안과적 수술의 기왕력 유무가 안압 측정시 영향을 주는 인자에는 해당하지 않는 것으로 나타났다(Table 1).

또한 근시의 정도가 안압 측정 시에 영향을 주는지 알아보기 위해 비교해 본 결과 이전에 각막굴절교정수술을 받지 않은 전체 123안 중 구면대응치 값이 -5디옵터 이상의 근시에 해당하는 13안에서 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 평균은 15.08 ± 1.98 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압의 평균은 12.46 ± 2.18 mmHg였고 나머지 110안에서 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 평균은 16.57 ± 4.29 mmHg, Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압의 평균은 14.34 ± 4.62 mmHg였다. Goldmann 압평 안압계로 측정한 안압의 경우 구면대응치 -5디옵터 이상의 근시안이에 해당하지 않은 안보다 평균 1.50 ± 0.68 mmHg 정도 낮게 측정되었으며($p=0.037$) Icare Rebound Tonometer로 측정한 안압도 평균 1.88 ± 0.75 mmHg정도 낮게 측정되었다($p=0.019$). 측정에 사용한 안압계의 종류와 상관없이 근시도수가 높은 안에서 측정된 안압이 더 낮은 분포를 보였으나(Table 2) 이번 연구에서 근시 정도의 기준으로 설정한 -5디옵터 이상의 근시안에 해당하는 대상안이 많지 않았고 안구축장길이 등을 고려하지 않은 점 등은 한계라고 생각한다.

이번 연구 결과에서 Goldmann 압평 안압계로 측정한 안

압이 Icare Rebound Tonometer로 측정된 안압에 비해 평균 2.23 ± 3.16 mmHg 높게 측정되는 것으로 나타났는데 이러한 차이에 영향을 줄 수 있는 인자들을 알아보기 위해 다중회귀분석을 시행한 결과 나이(age)와 구면대응치(SE, 근시 정도), Goldmann 압평 안압계로 측정된 기저 안압(GAT)이 두 안압계로 측정된 안압의 차이에 유의한 영향을 보이는 것으로 나타났다($\Delta IOP = -5.745 + 0.091 \times \text{age} - 0.259 \times \text{SE} + 0.163 \times \text{GAT}$, $p < 0.001$). Corneal hysteresis와 corneal resistance factor와 같은 각막의 생역학적(biomechanical) 요인들은 나이가 증가함에 따라 감소한다고 알려진 바 있고²⁵ Goldmann 압평 안압계는 이러한 각막의 생역학적 요인들의 영향을 받는다고 알려졌다.²⁶ Icare Rebound Tonometer도 역시 이러한 각막의 생역학적 요인들에 의하여 영향을 받을 가능성이 있고, 본 연구에서 ΔIOP 에 영향을 준 요인으로 나타난 환자의 연령과 구면대응치가 각막의 생역학적 요인과 관련되어 영향을 주었을 개연성이 있다. 그러나 아직까지 Icare Rebound Tonometer와 각막의 생역학적 요인들의 관련성에 대해 연구된 바가 없으므로 추후 이에 대한 추가적인 연구도 필요할 것으로 보인다.

이번 연구에 참여한 대상자 131인 이외에 각막수포병증을 보인 8안을 대상으로 두 안압계로 안압을 측정하여 비교를 해 본 결과 Icare Rebound Tonometer로 측정된 안압의 평균은 25.88 ± 16.19 mmHg, Goldmann 압평 안압계로 측정된 안압의 평균은 30.13 ± 16.91 mmHg였고 두 안압계로 측정된 안압 사이에는 높은 양의 상관관계를 보였다($r=0.969$, $p < 0.001$). Salvétat et al¹의 연구에서 Goldmann 압평 안압계에 비해 Icare Rebound Tonometer가 각막 부종의 영향을 덜 받는 것으로 보고한 바와 같이 각막 질환이 있는 경우 Goldmann 압평 안압계로 안압을 측정하는 대신 Icare Rebound Tonometer로 안압을 측정하는 것이 도움이 될 것이라고 생각한다.

결론적으로 Goldmann 압평 안압계와 비교했을 때 Icare Rebound Tonometer가 비교적 높은 일치도를 보이고 휴대성과 간편성이 뛰어나며 협조가 잘 되지 않는 환자에서도 비교적 쉽고 정확하게 안압을 측정할 수 있기 때문에 Goldmann 압평 안압계를 대신하여 Icare Rebound Tonometer가 임상적으로 유용하게 쓰일 수 있을 것이다. 하지만 Goldmann 압평 안압계에 비해 Icare Rebound Tonometer의 안압 측정 값이 더 낮게 나오는 경우가 대부분이었고 높은 범위의 안압을 찾아내는 민감도 측면에 있어서도 한계가 있어 Icare Rebound Tonometer를 이용하여 안압을 측정할 때에 이를 고려해야 할 것으로 생각한다.

참고문헌

- 1) Salvétat ML, Zeppieri M, Miani F, et al. Comparison of iCare tonometer and Goldmann applanation tonometry in normal corneas and in eyes with automated lamellar and penetrating keratoplasty. *Eye (Lond)* 2011;25:642-50.
- 2) Kageyama M, Hirooka K, Baba T, Shiraga F. Comparison of Icare rebound tonometer with noncontact tonometer in healthy children. *J Glaucoma* 2011;20:63-6.
- 3) Diaz A, Yebra-Pimentel E, Resua CG, et al. Accuracy of the Icare rebound tonometer in glaucomatous eyes with topical ocular hypotensive medication. *Ophthalmic Physiol Opt* 2008;28:29-34.
- 4) Leiva M, Naranjo C, Peña MT. Comparison of the rebound tonometer (ICare) to the applanation tonometer (Tonopen XL) in normotensive dogs. *Vet Ophthalmol* 2006;9:17-21.
- 5) Pakrou N, Gray T, Mills R, et al. Clinical comparison of the Icare tonometer and Goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma* 2008;17:43-7.
- 6) Sahin A, Basmak H, Niyaz L, Yildirim N. Reproducibility and tolerability of the Icare rebound tonometer in school children. *J Glaucoma* 2007;16:185-8.
- 7) García-Resúa C, González-Mejome JM, Gilino J, Yebra-Pimentel E. Accuracy of the new Icare rebound tonometer vs. other portable tonometers in healthy eyes. *Optom Vis Sci* 2006;83:102-7.
- 8) Lee J, Lee CH, Choi J, et al. Comparison between dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry. *Korean J Ophthalmol* 2009;23:27-31.
- 9) Yeom HY, Lee SJ, Lee JH, et al. Clinical application of pressure phosphene tonometer: comparison with Goldmann applanation tonometer in normal subjects. *J Korean Ophthalmol Soc* 2005;46:676-81.
- 10) Song MC, Koo HM, Baek NH. Clinical comparison of the ProTon and the Goldmann applanation tonometer. *J Korean Ophthalmol Soc* 1995;36:2188-94.
- 11) Yim HB, KIM HI, Joo CK, Kim KB. Clinical comparison of the pulsair pneumotonometer, oculab tono-pen and Goldmann applanation tonometer. *J Korean Ophthalmol Soc* 1991;32:364-70.
- 12) Krzyzanowska-Berkowska P, Asejczyk-Widlicka M. [Clinical evaluation of the Icare tonometer in measuring intraocular pressure]. *Klin Oczna* 2010;112(7-9):217-20.
- 13) Scuder GL, Cascone NC, Regine F, et al. Validity and limits of the rebound tonometer (ICare®): clinical study. *Eur J Ophthalmol* 2011;21:251-7.
- 14) Muttuvelu DV, Baggesen K, Ehlers N. Precision and accuracy of the Icare tonometer - Peripheral and central IOP measurements by rebound tonometry. *Acta Ophthalmol* 2012;90:322-6. doi: 10.1111/j.1755-3768.2010.01987.x. Epub 2010 Sep 15.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) Ruokonen PC, Schwentek T, Draeger J. Evaluation of the impedance tonometers TGDc-01 and iCare according to the international ocular tonometer standards ISO 8612. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2007;245:1259-65.

- 18) Detry-Morel M, Jamart J, Detry MB, et al. [Clinical evaluation of the dynamic rebound tonometer Icare]. J Fr Ophtalmol 2006;29: 1119-27.
- 19) 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.
- 20) Vandewalle E, Vandenbroeck S, Stalmans I, Zeyen T. Comparison of ICare, dynamic contour tonometer, and ocular response analyzer with Goldmann applanation tonometer in patients with glaucoma. Eur J Ophthalmol 2009;19:783-9.
- 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) 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.
- 23) 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.
- 24) Munkwitz S, Elkarmouty A, Hoffmann EM, et al. Comparison of the iCare rebound tonometer and the Goldmann applanation tonometer over a wide IOP range. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2008;246:875-9.
- 25) Kotecha A, Elsheikh A, Roberts CR, et al. Corneal thickness- and age-related biomechanical properties of the cornea measured with the ocular response analyzer. Invest Ophthalmol Vis Sci 2006;47: 5337-47.
- 26) Tranchina L, Lombardo M, Oddone F, et al. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure differences between an Air-Puff Tonometer and the Goldmann Applanation Tonometer. J Glaucoma 2012 [Epub ahead of print].

=ABSTRACT=

Comparison of Icare Rebound Tonometer with Goldmann Applanation Tonometry

Kook Lee, MD, Ji Young Lee, MD, Jung Il Moon, MD, PhD, Myoung Hee Park, MD, PhD

*Department of Ophthalmology and Visual Science, Yeouido St. Mary's Hospital,
The Catholic University of Korea College of Medicine, Seoul, Korea*

Purpose: To compare Icare rebound tonometer (IRT) and Goldmann applanation tonometer (GAT) and investigate the clinical usefulness of IRT.

Methods: In a retrospective study of 131 eyes with glaucoma and glaucoma suspect, intraocular pressure (IOP) was measured with IRT and GAT. The correlation between IRT and GAT and the influence of refractive error (spherical equivalent; SE) and central corneal thickness (CCT) were analyzed.

Results: A distinct correlation between IRT and GAT was found. IOP measured with GAT was 2.23 ± 3.16 mm Hg higher than with IRT ($p < 0.001$). As CCT increased, IOP was measured higher with both GAT and IRT. IOP in myopic eyes ($SE \geq -5$ diopter) was measured relatively lower than in hyperopic eyes ($SE < -5$ diopter) with GAT ($+1.50 \pm 0.68$ mm Hg) and IRT ($+1.88 \pm 0.75$ mm Hg).

Conclusions: IRT showed strong correlation with GAT, but IOP measured approximately 2 mm Hg lower. The IOP tends to measure lower at low CCT and in myopic eyes.

J Korean Ophthalmol Soc 2013;54(2):296-302

Key Words: Central corneal thickness, Goldmann applanation tonometer, Icare rebound tonometer

Address reprint requests to **Myoung Hee Park, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital
#10 63-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 150-713, Korea
Tel: 82-2-3779-1243, Fax: 82-2-3775-1245, E-mail: marypark@catholic.ac.kr