

Ocular Response Analyzer의 재현성 및 골드만압평안압, 비접촉안압과의 비교

조가은 · 전루민 · 최규룡

이화여자대학교 의학전문대학원 안과학교실, 시과학연구센터

목적: Ocular Response Analyzer (ORA)의 재현성을 평가하고, ORA, 골드만압평안압계(GAT), 비접촉안압계(NCT)로 측정된 안압 간의 차이를 알아보았다.

대상과 방법: 정상인 45명 45안을 대상으로 3명의 검사자가 ORA를 시행하였으며 독립된 검사자가 GAT와 NCT를 측정하였다. ORA의 재현성은 ANOVA-based Intraclass correlation coefficient (ICC)와 coefficient of variation (CV)을 이용하여 평가하였다.

결과: ORA 계측치의 검사자 간 재현성은 우수하였다. 검사자 내 재현성은 IOP cc, CRF에서 매우 우수하였으나 CH는 검사자에 따라 재현성의 차이가 있었다. IOP cc는 IOP g와 의미 있는 차이가 있었으나($p=0.04$), GAT와 NCT로 측정된 안압과는 차이가 없었다. IOP cc만 중심각막두께와 상관관계가 없었다($p=0.38$).

결론: ORA 계측치의 검사자 간 재현성은 우수하였고, 검사자 내 재현성은 IOP cc, CRF에서 우수하였다. ORA 안압은 GAT와 NCT로 측정된 안압과 차이를 보이지 않았다.

〈대한안과학회지 2012;53(9):1311-1317〉

지금까지 안압은 녹내장의 가장 중요한 예후인자로 평가되어왔으며 안압 하강은 녹내장의 주된 치료 기준으로 사용되고 있다.¹⁻⁴ 정확한 안압 측정의 중요성이 인식되면서 골드만압평안압계는 안압을 측정하는 여러 방법 중에서도 현재까지 안압 측정 방법의 기준(gold standard)으로 사용되고 있다. 그런데 중심각막두께, 각막곡률, 각막 혼탁 등의 인자들이 골드만압평안압계로 측정된 안압의 결과를 부정확하게 할 수 있어 한계점으로 지적되어 왔으며^{5,6} 특히, 중심각막두께가 골드만압평안압계의 결과에 강한 영향을 미칠 수 있음이 밝혀졌다. 즉, 중심각막 두께가 두꺼울수록 안압은 높게 측정되고 중심각막두께가 얇을수록 안압은 낮게 측정되는 것이다.⁷ 최근 들어 근시교정을 위해 중심각막두께에 직접적인 변화를 주는 각막굴절교정수술의 시행 빈도가 증가하면서 골드만압평안압계를 이용한 안압 측정의 정확성에 문제가 제기되었으며, 수술 후 발생하는 중심각막두께의 변화를 보정하기 위한 여

러 시도가 있었다.^{8,9}

Ocular response analyzer (ORA, Reichert Ophthalmic Instruments, Depew, NY, USA)는 각막의 생체역학적 성질을 측정하는 기구로, Corneal Hysteresis (CH), Corneal resistant factor (CRF)와 Corneal-compensated IOP (IOP cc)라는 새로운 개념을 도입하였다. Corneal hysteresis (CH)란 각막조직의 점탄성에 의해서 가해진 힘이 감쇠되는 성질, 즉 각막이 에너지를 흡수하고 소멸시키는 성질을 의미하며 LASIK (laser in-situ keratomileusis)를 시행 받은 환자, 백내장수술 후 환자, 원추각막환자 및 고도근시 환자에서 CH가 정상대조군보다 현저히 감소하였음이 보고되었다.¹⁰⁻¹² Corneal resistant factor (CRF)은 각막의 전반적인 저항력을 의미하며 중심각막두께와 의미 있는 상관관계가 있고, Corneal-compensated intraocular pressure (IOP cc)는 CH, CRF로서 측정되는 각막의 생체역학적인 성질을 보정한 안압으로, 각막의 정량적 계측치에 영향을 받지 않는 진정한 안압에 가깝다고 할 수 있다.

본 연구에서는 한국인 정상안을 대상으로 ORA로 측정된 각막 계측치와 이를 보정한 안압의 검사자 내 및 검사자 간의 재현성을 평가하고 현재 상용화되어 있는 골드만압평안압계 및 비접촉안압계로 측정된 안압과 차이가 있는지 알아보고자 하였다.

■ 접수 일: 2011년 11월 15일 ■ 심사통과일: 2012년 4월 3일
■ 게재허가일: 2012년 7월 14일

■ 책임저자: 최 규 룡

서울특별시 양천구 안양천로 1071
이화여자대학교 의료원 안과
Tel: 02-2650-5154, Fax: 02-2654-4334
E-mail: ckrey02@ewha.ac.kr

* 이 논문의 요지는 2010년 제26회 한국녹내장심포지엄에서 구연으로 발표되었음

대상과 방법

2010년 10월부터 2011년 1월까지 본원에서 연구를 위하여 자원한 자 중 정상인 45명 45안(남자 21명, 여자 24명)을 대상으로 전향적으로 시행하였다. 모든 피검자에서 개개인의 동의를 얻었으며 본 연구 방법은 임상윤리위원회의 승인을 받았다. 정상안은 교정시력이 20/20 이상이고, 비접촉안압계로 측정된 안압이 10-21 mmHg 범위 이내에 있으며, 굴절이상인 현성굴절검사상 -6.0디옵터부터 +6.0디옵터 사이인 경우로 정의하였다. 전안부 및 후안부에 안과적 질환 및 안과 수술의 과거력이 있는 경우, 검사일로부터 2주 안에 렌즈를 착용했던 경우는 연구에서 제외하였으며 양안이 모두 포함되는 경우 무작위로 단안만 본 연구에 포함하였다. 모든 대상자는 시력, 세극등현미경검사, 현성굴절검사, 각막곡률검사를 시행 받았으며 안저검사를 통해 시신경유두 함몰비와 망막질환여부를 확인하였다.

ORA는 역동적인 양방향성 압평 과정을 이용하여 각막의 생체역학적인 성질과 안압을 측정한다. 빠른 공기압이 각막에 반복적인 힘을 가하여 각막을 안쪽으로 이동시키고 평평화 시킨다. 이때, 연속하여 공기 압력을 가하면 각막은 첫 번째 압평 지점을 지나고 오목하게 된다. 공기 압력을 중지하면 각막은 다시 본래의 볼록한 모양으로 외향 이동을 하는데 이 과정에서 두 번째 압평 지점을 지난다. 첫 번째와 두 번째 압평 지점에서 각각 독립적인 안압 수치를 구할 수 있으며 두 값의 평균값을 Goldmann-correlated IOP (IOP g), 두 값의 차이를 Corneal hysteresis (CH)라고 정의한다(Fig. 1). 또한 수학적 계산으로 다른 두 계측치, 즉 Corneal-compensated IOP (IOP cc)와 Corneal resistance factor (CRF)를 도출한다.

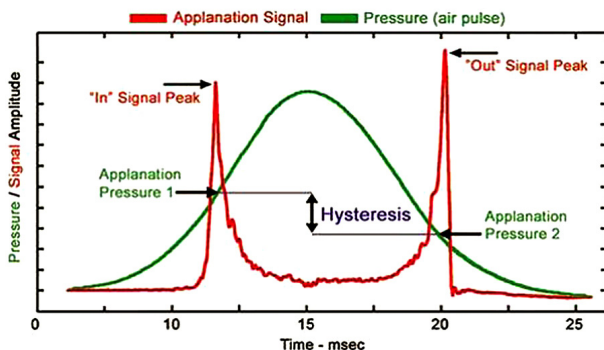


Figure 1. Measurement of corneal hysteresis. During an ORA measurement, air pulse causes the cornea to move inward. After cessation of air pulse, outward movement occurs and this makes two signal peaks. The difference between these inward and outward applanation pressure is called corneal hysteresis (CH).

안압은 ORA, 비접촉안압계(Topcon CT80, Tokyo, Japan), 골드만안압평안압계(Haag-Streit, Köniz, Switzerland)로 측정하였으며 비접촉안압과 골드만안압평안압은 각각 한 명의 검사자가 3회 측정 후 평균값을 취하였다. ORA는 3명의 독립적인 검사자가 1-2분의 간격을 두고 연속적으로 4회 측정하였다. 매번 검사 시마다 머리받침대를 중심으로 옮겼다가 다시 검사안 쪽으로 움직인 후 이마를 고정하였다. 중심각막 두께는 초음파 중심각막측정계(Tomey, Nagoya, Japan)를 이용하여 3회 측정한 후 평균값을 구하였다. 3개의 안압계 및 중심각막두께 측정은 1시간 이내에 시행하였고, 비접촉안압계와 ORA를 먼저 시행한 후 골드만안압평안압과 중심각막두께를 측정하여 접촉으로 인한 영향을 최소화하였다.

검사자 간 그리고 검사자 내 재현성은 ANOVA를 이용한 intraclass correlation coefficient (ICC)와 coefficient of variation (CV)로 평가하였으며 서로 다른 안압계로 측정된 안압 수치 간의 비교는 Bland-Altman plot과 paired *t*-test를 이용하여 분석하였다. 중심각막두께와 ORA 계측치 간의 상관관계는 Pearson 상관계수를 이용하여 알아보았다. *p* 값의 유의수준은 0.05 미만으로 하였고 통계분석에는 SPSS version 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하였다.

결 과

대상환자 45명 45안 중 남자는 21안, 여자는 24안이며, 평균나이는 51.8 ± 14.1 세(범위, 20-74)였다(Table 1). ORA 계측치의 평균과 표준편차는 각각 IOP cc의 경우 14.0 ± 2.7 mmHg였으며, CH는 10.7 ± 1.5 mmHg, CRF는 10.0 ± 1.8 mmHg였다. 골드만안압평안압계(GAT), 비접촉안압계(NCT)로 측정된 안압의 평균과 표준편차는 각각 13.8 ± 2.5 mmHg, 13.6 ± 2.5 mmHg였다.

Intraclass correlation coefficient (ICC) 평가 기준은 이전에 발표된 보고에 따라 $0.21 < K < 0.4$ 인 경우 ICC는 상당하다고 평가하였으며, $0.41 < k < 0.6$ 인 경우 적정함, $0.61 < k < 0.8$ 우수함, $0.81 < k < 0.99$ 는 거의 완벽하다고 정의하였다.¹³ 검사자 간 재현성을 평가하는 ICC는 IOP cc의 경우 0.94, CRF는 0.96, CH는

Table 1. Baseline characteristics of the study population

Total	45 (45 eyes)
Age (mean \pm SD, yr)	51.8 \pm 14.1
Sex (M/F)	21/24
Refractive error (mean \pm SE, D)	-0.8 \pm 2.0
Corneal cylinder (mean \pm SD, D)	-0.7 \pm 0.4
CCT (mean \pm SD, μ m)	545.6 \pm 33.7

CCT = central corneal thickness.

0.90, IOP g는 0.97이었다. 이에 해당하는 coefficient of variation (CV) value는 각각 순서대로 16.9%, 15.9%, 13.2% 그리고 19.1%였다. ORA 측정의 검사자 간 재현성은 모든 계측치에 있어 우수하거나 그 이상으로 거의 완벽하였다(Table 2).

검사자 내 ICC는 IOP cc의 경우 첫 번째 검사자가 0.78, 두 번째 검사자는 0.84, 세 번째 검사자는 0.88였으며 CV는 차례대로 16.8%, 14.6%, 11.2%였다. CRF의 검사자 내 ICC는 첫 번째 검사자가 0.80, 두 번째 검사자가 0.84, 세 번째 검사자가 0.84였으며 CV는 각각 11.6%, 15.3% 그리

Table 2. Inter-observer reproducibility of IOP cc, CH, CRF and IOP g

Parameter	ICC (95% CI)	CV (%)
IOP cc	0.94 (0.89-0.96)	17.1
CH	0.90 (0.86-0.92)	13.2
CRF	0.96 (0.93-0.98)	15.9
IOP g	0.97 (0.94-0.98)	19.1

The inter-observer reproducibility of ORA measurements was almost perfect for all investigated parameters.

ICC = intraclass correlate on coefficient; CV = coefficient of variation.

고 15.9%였다. CH의 검사자 내 ICC는 첫 번째 검사자부터 순서대로 0.74, 0.82, 0.79였으며 각각에 해당하는 CV는 15.9%, 13.0%, 13.8%였다. ORA 계측치의 검사자 내 재현성은 IOP cc, CRF에서 거의 완벽하였으나 CH는 검사자에 따라 재현성의 차이가 있었다(Table 3).

ORA로 측정한 두 가지 안압, 즉 IOP cc와 IOP g사이의 평균 차이는 0.6 ± 1.4 mmHg였으며 이는 통계학적으로 의미가 있었다($p=0.04$). IOP g와 GAT-IOP의 차이는 0.31 ± 2.1 mmHg, IOP cc와 GAT-IOP의 차이는 -0.07 ± 2.6 mmHg였으나 통계학적으로 의미는 없었으며($p>0.05$) 이를 Bland-Altman plot을 이용하여 보았을 때 안압의 높고 낮음에 따라 두 안압의 차이는 뚜렷한 경향성을 보이지 않았으며 대부분 표준편차 이내에 분포하였다(Fig. 2). IOP g와 IOP cc는 NCT-IOP와 비교하였을 때 통계학적으로 의미 있는 차이를 발견할 수 없었다($p>0.05$).

중심각막두께의 평균과 표준편차는 545.6 ± 33.7 μ m였다. 중심각막두께는 CRF, CH, IOP g, GAT-IOP 그리고 NCT-IOP와 유의한 상관관계가 있었다. 반면, IOP cc는 중심각막두께와 상관성을 보이지 않았다(Fig. 3).

Table 3. Intra-observer reproducibility

	Observer 1		Observer 2		Observer 3	
	ICC (95% CI)	CV (%)	ICC (95% CI)	CV (%)	ICC (95% CI)	CV (%)
IOP cc	0.78 (0.74-0.80)	16.8	0.84 (0.80-0.85)	14.6	0.88 (0.84-0.90)	11.2
CH	0.74 (0.70-0.76)	15.9	0.82 (0.78-0.84)	13.0	0.79 (0.75-0.81)	13.8
CRF	0.80 (0.76-0.81)	11.6	0.84 (0.79-0.85)	15.3	0.84 (0.80-0.86)	15.9
IOP g	0.86 (0.82-0.88)	15.1	0.89 (0.85-0.91)	16.0	0.89 (0.84-0.90)	15.9

Intra-observer short-term reproducibility was substantial for IOP cc and CH, and almost perfect for IOP g and CRF.

ICC = intraclass correlation coefficient; CV = coefficient of variation.

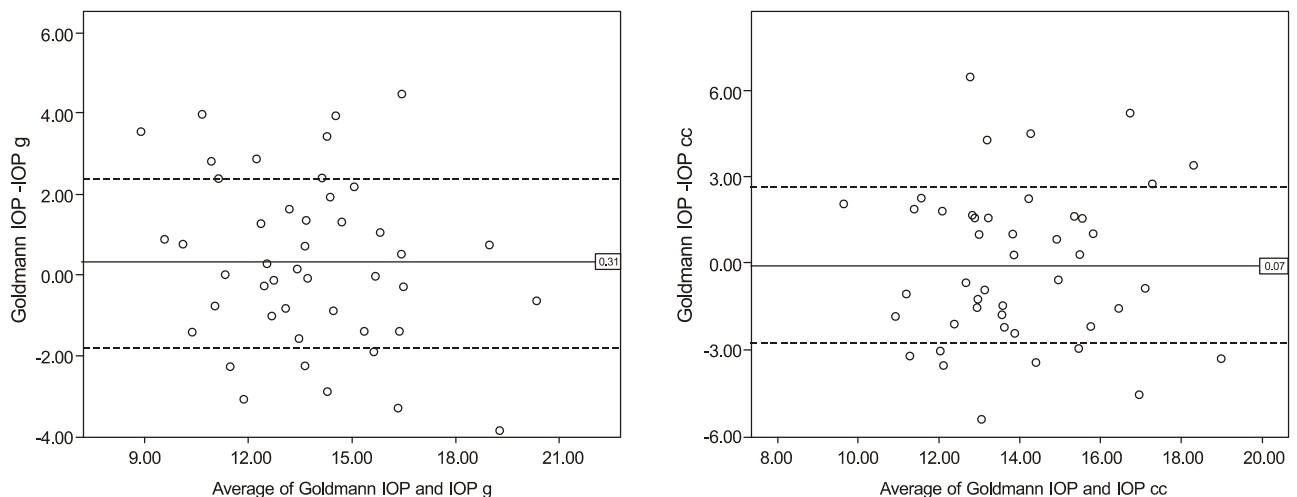


Figure 2. Bland-Altman plots of agreement between IOP g and GAT-IOP, and IOP cc and GAT-IOP. The difference between the measurements is plotted against the average of the measurements. Dotted lines represent 95% limit of agreement. The differences in mean IOP values between IOP g and GAT-IOP (0.31 mm Hg), between IOP cc and GAT-IOP (-0.07 mm Hg) were not statistically significant.

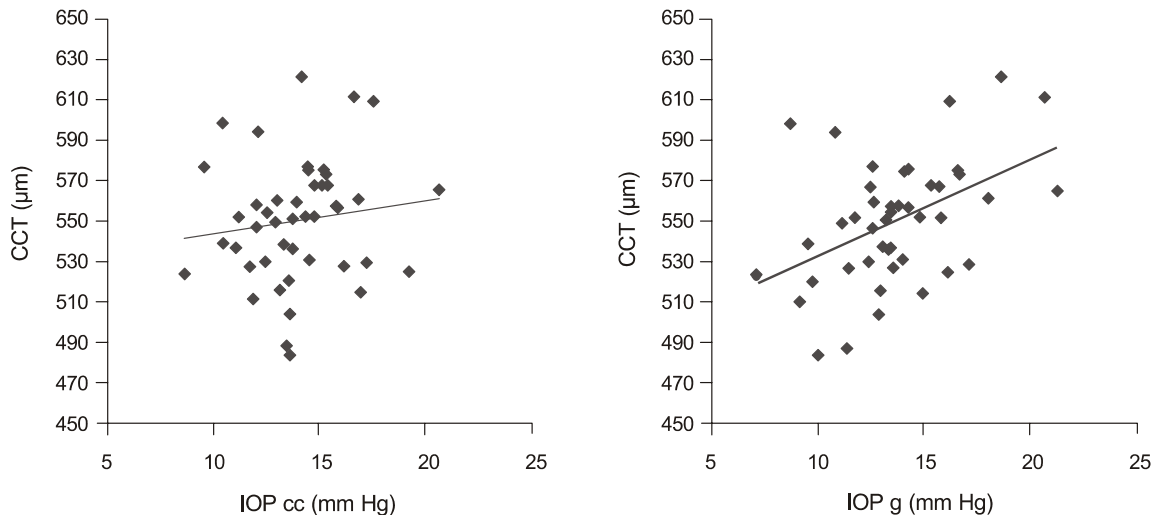


Figure 3. Statistical correlations between IOP g, IOP cc and CCT. CCT was significantly associated with IOP g ($r = 0.45, p = 0.002$), but not with IOP cc ($r = 0.14, p = 0.38$). CCT was also correlated with GAT-IOP ($r = 0.50, p < 0.001$), NCT-IOP ($r = 0.57, p < 0.001$), CH ($r = 0.44, p = 0.002$) and CRF ($r = 0.46, p = 0.002$).

고 찰

안압 측정의 기준(gold standard)으로 평가되는 골드만 압평안압계는 Imbert-Fick Law를 원리로 하고 있다. Imbert-Fick Law는 액체로 채워져 있으면서, 두께가 무한히 얇고 경성이 없는 구의 내부 압력을 계산하는 법칙으로 일정한 두께와 경성을 갖고 있는 각막에 적용할 경우, 필연적으로 오류를 야기하게 된다. 이러한 오류를 보정하기 위해 골드만압평안압 수치를 수학적 공식으로 보정하여 적용하려는 시도가 있어왔지만 지금까지 임상적으로 합당한 것은 없었다. ORA는 처음으로 비침습적인 방법으로 단순히 중심각막두께를 넘어 각막의 생체역학적인 성질인 점탄성과 전반적인 각막의 경성을 의미하는 Corneal Hysteresis와 Corneal Resistant Factor를 생체 내에서(*in vivo*) 측정하였으며 이를 보정한 안압(Corneal-compensated IOP)을 제시하였다. 본 연구는 ORA 측정치의 재현성을 평가하였으며, 또한 ORA의 측정치와 현재 안압측정의 기준으로 평가받고 있는 골드만압평안압계, 그리고 임상적으로 가장 간편하여 널리 쓰이고 있는 비접촉안압계를 같은 대상자를 기준으로 동시에 비교하였다는 점에서 의의가 있다.

ORA로 측정한 IOP cc, CRF, CH에서 검사자 간 우수한 재현성이 관찰되었다. 이러한 결과는 현재 사용되는 다른 안압계와 비슷한 정도의 재현성으로서 이전의 연구에서 임상적으로 적용 가능하다고 판단했던 수준이다. 검사자 간의 단기적 재현성은 IOP cc, CRF의 경우 완벽하였으나 CH는 우수한 편이었다. CRF가 가장 재현성이 있었으며 CH는 검사자에 따라, 또한 같은 검사자라도 검사 시마다 측정치의 변동이 있었다. Wasielica-Poslednik et al¹⁴은 정상인 46

안을 대상으로 시행한 연구에서 IOP cc, CRF, CH에서 임상적으로 적용 가능한, 완벽한 검사자 간 재현성을 보고하였다. 검사자 내 재현성은 IOP cc는 매우 높았으나 CRF, CH는 우수한 정도여서 다른 계측치와 비교했을 때 CH의 수치는 변동성이 있음을 보고하여 이번 연구의 결과와도 일치하였다.

최근 정상 한국인을 대상으로 한 연구에서 20세 이상 성인의 평균 ORA 계측치를 IOP cc, CH, CRF순으로 14.76 mmHg, 10.62 mmHg, 10.25 mmHg로 본 연구의 결과와 비슷하게 보고하였으며 IOP cc와 비접촉안압계의 안압과 유의한 상관관계가 있다고 하였다.¹⁵ 대상군의 평균연령(mean \pm SD, 34.84 \pm 13.24; range, 21-69)이 본 연구의 대상군보다 젊은 연령이었음에도 비슷한 ORA 계측치 결과를 보고하였다. 하지만, 연령과의 상관관계 분석을 하였을 때 본 연구에서는 IOP cc만 나이와 유의한 상관관계를 보인 반면($r = -0.30, p = 0.04$), 이전의 연구에서는 ORA계측치 모두 연령과 상관관계를 보이지 않았다.

비접촉안압계는 각막과의 직접적인 접촉이 없고, 점안마취제의 점안 없이도 검사가 가능하며 전염성질환의 감염위험이 적기 때문에 대규모 스크리닝검사 시 유용하게 쓰이는 안압측정 방법이다. ORA는 이러한 비접촉안압계 고유의 장점이 있을 뿐 아니라 각막의 생체역학적인 성질을 측정하고 이를 안압수치에 반영할 수 있다는 점에서 기존의 비접촉안압계보다 우월하다고 할 수 있다. Ogbuehi and Almubrad¹⁶이 89안을 대상으로 1주일 간격을 두고 2회 검사를 시행한 연구에서 비접촉안압계로 측정한 안압과 ORA로 측정한 안압은 의미 있는 차이를 보이지 않았으며, 한국인을 대상으로 시행한 연구에서도 IOP cc와 NCT-IOP가

높은 상관관계를 보여 비접촉안압계로서 ORA의 사용가능성을 뒷받침하고 있다.¹⁵

이번 연구에서 IOP cc와 IOP g는 의미 있는 차이가 있었다. IOP cc와 GAT-IOP, IOP g와 GAT-IOP 간에는 차이가 있었으나 통계학적으로 유의하지 않았다. Pepose et al¹⁷은 LASIK을 시행 받은 환자를 대상으로 한 연구에서 골드만압평안압계로 측정한 안압이 IOP cc, IOP g보다 각각 1.6 mmHg, 1.4 mmHg 높다고 보고하였으며 Kirwan et al¹⁸은 4세부터 소아를 대상으로 한 연구에서 IOP cc와 IOP g가 GAT-IOP보다 각각 3.3 mmHg, 1.3 mmHg 높다고 발표하였다. 반면에 녹내장환자, 고안압증환자를 대상으로 한 연구에서는 ORA가 GAT-IOP보다 높게 측정한다고 밝혀진 바가 있다. Martinez-de-la-Casa et al¹⁹은 녹내장환자를 대상으로 한 연구에서 IOP cc와 IOP g가 GAT-IOP보다 각각 8.3 mmHg, 7.2 mmHg 높았으며 Sullivan-Mee et al²⁰도 녹내장, 고안압증, 녹내장의증환자를 대상으로 한 연구에서 ORA가 골드만압평안압계보다 안압을 높게 측정하는 경향이 있다고 하였다. 이러한 보고들은 이번 연구의 결과와 차이가 있는데 이는 이번 연구에 참여한 대상자들의 평균 중심각막두께가 기존 연구의 대상자들과 비교하여 상대적으로 얇았고, 모든 환자가 정상, 동양인으로만 구성되었기 때문일 수 있다.

중심각막두께와의 연관성을 분석한 결과 IOP cc를 제외한 IOP g, CRF, CH에서 의미 있는 상관관계가 관찰되었다. IOP cc를 비롯한 ORA 계측치와 중심각막두께의 상관관계에 대하여 지금까지 상반된 결과들이 보고되었는데, Martinez-de-la-Casa et al¹⁹에 의하면 녹내장환자에서 IOP g, IOP cc는 모두 중심각막두께와 약하지만 의미 있는 상관관계가 있었다. 반면, Wasielica-Poslednik et al¹⁴은 CRF는 중심각막두께와 연관성이 있지만 IOP cc, CH는 중심각막두께와 상관관계가 없다고 보고하였고 이는 Medeiros and Weinreb²¹의 결과와도 일치하였다. 마지막으로 한국인을 대상으로 한 Kim et al¹⁵의 연구에서 중심각막두께는 CRF, CH와 상관관계가 있었지만 IOP cc와는 의미 있는 상관관계를 보이지 않아 이번 연구의 결과를 뒷받침하는 결과를 보고하였다. 결론적으로 이전의 연구들과 본 연구 결과를 종합하면 ORA 계측치 중에서 IOP cc가 중심각막두께의 영향을 가장 적게 받는다고 할 수 있지만, 이를 명확하게 설명하기 위해서는 녹내장 환자와 정상인, 그리고 동양인과 백인의 각막의 생체역학적 요소를 비교하는 추가적인 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

ORA로 측정한 각막의 생체역학적 성질은 위에서 제시한 바처럼 단순히 측정한 안압을 보정하는 데에만 그 중요성이 있는 것이 아니다. Ocular Hypertension Treatment

Study (OHTS)에 따르면 고안압증 환자 중에서 녹내장으로 진행되는 위험성을 예측하는 인자로서 중심각막두께의 중요성을 강조하고 있다.¹ 즉 중심각막두께가 얇을수록 원발개방각 녹내장이 발생할 가능성이 증가한다는 것이다. ORA에서 측정한 각막의 생체역학적 인자들 또한 이러한 맥락에서 안과영역에서 질병의 진단과 예후를 예측하는 인자로 응용할 수 있다. 낮은 CH가 녹내장환자의 빠른 시야결손의 진행속도의 위험인자이자 알려지면서, CH는 각막의 생체역학적인 성질을 나타냄과 함께 안압에 대한 안구의 전반적인 취약성을 의미함은 이미 다른 연구에서 보고가 되었다.^{22,23} 또한 원추각막, 폭스이상증에서 평균 CH가 정상인보다 낮은 것으로 알려져서 이는 녹내장 이외의 영역에서 ORA 계측치의 적용가능성을 시사한다.^{10,24}

본 연구는 모든 대상자의 검사시각을 일정하게 조절하지 않았다는 제한점이 있다. 대상자 한 명의 ORA, 골드만압평안압계, 비접촉안압계는 시간차를 두지 않고 측정하였으나 대상자별 검사 시각이 일치하지 않았다. 따라서 하루 변화가 없다고 알려진 IOP cc와 측정시각에 영향을 받는 골드만압평안압계, 비접촉안압계 간의 차이를 분석할 때 이로 인한 오차가 발생할 수 있다.

결론적으로 ORA를 이용하여 재현성이 있는 안압 및 각막의 생체역학적 요소의 측정이 가능하였다. IOP cc는 유일하게 중심각막두께와 유의한 상관관계를 보이지 않아 각막의 생체역학적인 영향을 가장 적게 받는 안압이라고 할 수 있다. 본 연구에서 IOP cc, IOP g와 골드만압평안압계 및 비접촉안압계로 측정한 안압과 통계학적으로 의미 있는 차이를 발견할 수 없었으며 이는 골드만압평안압계와 비접촉안압계를 대체할 뿐만 아니라, 새로운 개념의 각막의 생체역학적 성질을 측정할 수 있는 ORA의 임상적 적용 가능성을 제시한다.

참고문헌

- 1) Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. Arch Ophthalmol 2002;120:714-20; discussion 829-30.
- 2) Coleman AL, Miglior S. Risk factors for glaucoma onset and progression. Surv Ophthalmol 2008;53 Suppl 1:S3-10.
- 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, Hussein M, et al. Factors for glaucoma progression and the effect of treatment: the early manifest glaucoma trial. Arch Ophthalmol 2003;121:48-56.
- 5) Whitacre MM, Stein R. Sources of error with use of Goldmann-

- type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993;38:1-30.
- 6) Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:146-55.
 - 7) Francis BA, Hsieh A, Lai MY, et al. Effects of corneal thickness, corneal curvature, and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Ophthalmology* 2007;114:20-6.
 - 8) Kohlhaas M, Spoerl E, Boehm AG, Pollack K. A correction formula for the real intraocular pressure after LASIK for the correction of myopic astigmatism. *J Refract Surg* 2006;22:263-7.
 - 9) Silva TG, Polido JG, Pinheiro MV, et al. [Application of corrective formula for intraocular pressure changes in patients that underwent LASIK]. *Arq Bras Oftalmol* 2011;74:102-5.
 - 10) Goldich Y, Barkana Y, Avni I, Zadok D. Goldmann applanation tonometry versus ocular response analyzer for intraocular pressure measurements in keratoconic eyes. *Cornea* 2010;29:1011-5.
 - 11) Kucumen RB, Yenerel NM, Gorgun E, et al. Corneal biomechanical properties and intraocular pressure changes after phacoemulsification and intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:2096-8.
 - 12) Chang PY, Chang SW, Wang JY. Assessment of corneal biomechanical properties and intraocular pressure with the Ocular Response Analyzer in childhood myopia. *Br J Ophthalmol* 2010;94:877-81.
 - 13) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977;33:159-74.
 - 14) Wasilica-Poslednik J, Berisha F, Aliyeva S, et al. Reproducibility of ocular response analyzer measurements and their correlation with central corneal thickness. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2010;248:1617-22.
 - 15) Kim SW, Seo SG, Her J, Park SJ. Factors affecting the ocular response analyzer parameters in normal Korean. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:1605-10.
 - 16) Ogbuehi KC, Almubrad TM. Evaluation of the intraocular pressure measured with the ocular response analyzer. *Curr Eye Res* 2010;35:587-96.
 - 17) Pepose JS, Feigenbaum SK, Qazi MA, et al. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and noncontact tonometry. *Am J Ophthalmol* 2007;143:39-47.
 - 18) Kirwan C, O'Keefe M, Lanigan B. Corneal hysteresis and intraocular pressure measurement in children using the reichert ocular response analyzer. *Am J Ophthalmol* 2006;142:990-2.
 - 19) Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Fernandez-Vidal A, et al. Ocular response analyzer versus Goldmann applanation tonometry for intraocular pressure measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:4410-4.
 - 20) Sullivan-Mee M, Billingsley SC, Patel AD, et al. Ocular Response Analyzer in subjects with and without glaucoma. *Optom Vis Sci* 2008;85:463-70.
 - 21) Medeiros FA, Weinreb RN. Evaluation of the influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurements using the ocular response analyzer. *J Glaucoma* 2006;15:364-70.
 - 22) De Moraes CG, Hill V, Tello C, et al. Lower corneal hysteresis is associated with more rapid glaucomatous visual field progression. *J Glaucoma* 2012;21:209-13.
 - 23) Bochmann F, Ang GS, Azuara-Blanco A. Lower corneal hysteresis in glaucoma patients with acquired pit of the optic nerve (APON). *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2008;246:735-8.
 - 24) del Buey MA, Cristóbal JA, Ascaso FJ, et al. Biomechanical properties of the cornea in Fuchs' corneal dystrophy. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:3199-202.

=ABSTRACT=

Reproducibility of Ocular Response Analyzer and Comparison with Goldmann Applanation Tonometer and Non-Contact Tonometer

Ga Eun Cho, MD, Roo Min Jun, MD, PhD, Kyu-Ryong Choi, MD, PhD

The Institute of Ophthalmology and Optometry, Department of Ophthalmology, Ewha Womans University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To evaluate the inter- and intra-observer variability of ocular response analyzer (ORA) measurements, and to evaluate the relationships among the intraocular pressures (IOPs) obtained by ORA, Goldmann applanation tonometer (GAT) and non-contact tonometer (NCT).

Methods: The present study included 45 normal eyes from 45 volunteers. Three masked observers performed ORA measurements. NCT and GAT measurements were performed by one independent observer. The reproducibility of ORA was assessed by ANOVA-based intraclass correlation coefficient (ICC) and coefficient of variation (CV). Comparison among the tonometers was performed using the Bland-Altman plot and paired *t*-test.

Results: The ICC for inter-observer reproducibility of ORA parameters was 0.90 to 0.97. The corresponding CV values were 13.2% to 19.1%. The intra-observer ICC values for IOP cc were 0.78 to 0.88. CV was 11.2% to 16.8%. For CRF, ICC values were 0.80 to 0.84 with CV values as 11.6% to 15.9%. For CH, ICC values were 0.74 to 0.82 and CV values were 13.0% to 15.9%. The difference in mean IOP values between IOP cc and IOP g was statistically significant ($p = 0.04$). However, no difference was found among other tonometers, and only IOP cc did not result in significant correlation with central corneal thickness (CCT) ($p = 0.38$).

Conclusions: The intra- and inter-observer reproducibility was substantial for IOP cc, IOP g, CH and CRF, for all observers. Additionally, IOP measured with ORA did not result in significant differences from GAT and NCT.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(9):1311-1317

Key Words: Central corneal thickness, Intraocular pressure, ORA, Repeatability, Tonometer

Address reprint requests to **Kyu-Ryong Choi, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Ewha Womans University Medical Center
#1071 Anyangcheon-ro, Yangcheon-gu, Seoul 158-710, Korea
Tel: 82-2-2650-5154, Fax: 82-2-2654-4334, E-mail: ckrey02@ewha.ac.kr