

돼지 눈 실험 모델에서 리바운드 안압계의 수직 및 수평 측정값의 정확성과 반복성 비교

Accuracy and Reliability of the Icare PRO in Enucleated Porcine Eyes - Upright and Horizontal Positions

이가영 · 유영철

Ka Young Lee, MD, Young Cheol Yoo, MD

한림대학교 의과대학 강동성심병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Kangdong Sacred Heart Hospital, Hallym University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To compare the accuracy and reliability of intraocular pressure (IOP) measurements in enucleated porcine eyes using the Icare PRO in the upright and horizontal positions.

Methods: We designed an enucleated porcine eye model whose anterior chamber was cannulated with a 30-gauge needle, connected in parallel to a pneumatic pressure device. The reference pressure was manipulated by changing the air pressure from 70 to 10 mm Hg at 10 mm Hg intervals, and the IOP of porcine eyes was measured with the Icare PRO at each pressure. Correlation analysis, comparison using the Bland-Altman plot and Wilcoxon signed rank test, was performed to assess the accuracy of IOP measurements. Intraclass correlation coefficients were calculated to assess the intra-observer variability in the upright and horizontal positions, respectively.

Results: The IOP value in both upright and horizontal positions was well correlated with the reference pressure ($r = 0.992$ and 0.985 , respectively). The Bland-Altman plot showed good agreement between the two positions. However, all IOP values in both positions were lower than the reference pressures. The IOP values in the horizontal position were significantly lower than those in the upright position at the a reference pressure of 50 mm Hg or greater. Values of intraclass correlation coefficient ranged from 0.911 to 0.984 when measured in the upright position and from 0.707 to 0.914 in the horizontal position.

Conclusions: IOP measurements of Icare PRO in porcine eyes were remarkably lower than reference pressures controlled by the pneumatic method even though they showed a good correlation with reference values. The higher was the reference pressure, the greater was the degree of underestimation of IOP measurement in both positions. This trend was more pronounced in the horizontal position, and the reliability of IOP measurements was also lower than that in the upright position.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(2):228-233

Key Words: Accuracy, Horizontal position, Icare PRO rebound tonometer, Intraocular pressure, Reliability

■ Received: 2014. 6. 27. ■ Revised: 2014. 8. 20.

■ Accepted: 2015. 1. 7.

■ Address reprint requests to **Young Cheol Yoo, MD**
Department of Ophthalmology, Hallym University Kangdong
Sacred Heart Hospital, #150 Seongan-ro, Gangdong-gu, Seoul
134-701, Korea
Tel: 82-2-2224-2274, Fax: 82-2-470-2088
E-mail: demian7435@gmail.com

* This study was presented as a narration at the 110th Annual Meeting
of the Korean Ophthalmological Society 2013.

정확한 안압측정은 녹내장의 진단과 치료에 매우 중요하다. 높은 안압이 녹내장의 위험인자로 잘 알려져 있어¹ 대부분의 치료가 안압을 조절하는 데 초점이 맞춰져 있다.²

골드만 압평안압계가 현재 안압을 재는 표준이지만, 각막 생체인자가 값에 영향을 미칠 수 있고, 값 해석에 주관적인 요소가 개입할 수 있다는 제한점이 있다. 특히 세극등 현미경을 이용해야만 하므로, 앓을 수 없는 환자는 골드만

© 2015 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.

안압계로 안압을 측정할 수 없다.

리바운드 안압계는 비교적 적은 숙련으로도 안압을 측정할 수 있는 휴대용 기계다. 측정 말단부는 자성을 가진 철선으로 이루어진 탐침과 솔레노이드로 구성되어 있으며 탐침의 말단부는 동근 플라스틱으로 쌓여 있다. 안압계의 버튼을 누르면 솔레노이드 내 탐침의 끝이 초당 약 0.2 m의 속도로 각막에 부딪힌 후 속도가 감소되며 제자리로 회복되는데, 이때 탐침의 감속 시간을 측정하여 안압으로 변환시켜주는 유발/충돌 원리를 이용한 것이다. 안압이 높을수록 충돌 후 유발 시간이 짧아진다.^{3,4}

리바운드 안압계의 장점은 각막 표면의 요철에 영향을 덜 받고, 마취제 점안 없이 간편하고 빠르게 안압을 측정할 수 있다는 것이다. 또한 각막 표면 손상 및 감염 전파의 가능성이 낮다. 최근에는 Icare Pro 제품(Icare Finland Oy, Helsinki, Finland)이 출시되어 앉은 자세뿐 아니라 누워 있는 자세에서도 리바운드 안압계를 수평으로 하여 안압을 측정할 수 있게 되었다. 따라서 수술방에서의 안압 측정, 활동에 제약이 있는 환자들의 안압 측정이 가능해졌다.

리바운드 안압계는 정확성 및 신뢰도 측면에서 골드만 압평안압계를 대신하기 어렵다는 보고도 있기는 하나,⁵ 대개 골드만 압평안압계 측정값과 의미 있는 일치율을 보여 유용한 안압측정계로 알려졌다.^{6,9} 이전의 연구는 앉은 자세에서 측정한 값을 대상으로 한 것뿐이고, 누워있는 자세에서 측정한 리바운드 안압의 정확도 및 신뢰도에 대한 연구는 Jablonski et al¹⁰이 퍼킨스안압계로 측정한 결과와 비교한 것 외에는 없다. 임상에서의 활용도가 높아지고 있는 만큼 리바운드 안압계로 수직자세뿐 아니라 수평 자세에서 측정할 때의 정확도 및 신뢰도에 대한 연구는 매우 중요한 문제이다.

이에 저자들은 안압을 인위적으로 조절할 수 있는 돼지 눈 모델을 만들어 Icare Pro 리바운드 안압계를 이용하여 수직자세뿐 아니라 수평자세에서도 안압을 측정하였고, 이들 값의 정확도와 신뢰도를 알아보고자 하였다.

대상과 방법

이 연구는 5개의 적출된 돼지(1 year old, male, 80-90 kg, Korea species) 눈을 대상으로 하였다. 적출한 지 2시간 이내의 눈을 사용하였고, 안압을 재기 직전까지 냉장보관(5-10°C) 상태를 유지하였다. 리바운드 안압계는 총 6회 연속으로 안압을 측정한 후 가장 높은 값과 가장 낮은 값을 뺀 나머지의 평균값을 계산하여 안압계 화면에 숫자로 보여준다. 이 평균값은 앞서 말한 6회 측정값들의 표준편차 정도를 의미하는 녹색, 노랑, 빨강 동그라미와 함께 표시된

다. 녹색이 표준편차가 정상 범위인 값을 의미하는 것으로, 본 실험에서는 녹색이 표시된 측정값만을 이용하였으며, 노랑, 빨강이 표시되었을 때는 녹색이 나올 때까지 반복 측정하였다.

한 명의 검사자가 리바운드 안압계로 표준편차가 정상 범위인 측정치가 3회 나올 때까지 안압을 측정하였다. 리바운드 안압계의 탐침의 끝과 각막 사이의 거리는 5 mm로 하였고, 탐침이 충돌할 때 돼지 눈의 각막 중심에 닿도록 하였다. 이때 탐침의 위치가 변경되지 않도록 리바운드 안압계는 집게 장치를 이용하여 고정하였고 돼지 눈은 스티로폼 내부에 공간을 만들어 핀으로 고정하였다. 리바운드 안압계의 수직자세 측정은 사람의 경우 앉은 자세에서 정면을 본 상태에서 측정하는 것으로, 돼지 눈의 시축이 지면과 수평하게 한 후 탐침은 각막과 수직이 되면서 지면과는 수평이 되게 설정하였다. 수평자세 측정은 누워서 천정을 바라본 상태로 측정하는 것으로, 돼지 눈의 시축이 천정과 수직이 되게 한 후 탐침은 지면과 수직이 되게끔 만들어 안압을 측정하였다.

공기압력 조절장치를 만들기 위해 유리 메스 실린더 몸통에 2개의 공기가 통할 수 있는 연결튜브가 있게끔 제작하였다. 실린더 입구에는 압력계(sphyngomanometer)를 설치하였고, 한 튜브에는 고무관을 이용해 압력 조절에 사용할 고무 펌프를 연결하였다. 다른 튜브에는 돼지 눈 전방에 삽입할 30게이지 바늘을 수액세트를 이용하여 연결하였다. 30게이지 바늘은 돼지 각막윤부를 통해 전방 내에 위치시켰으며, 고무 펌프를 잠근 후 압력을 올려보아 유도한 압력이 지속적으로 유지되는 것을 확인하였다. 이것으로 이 장치의 내부는 외부와 공기가 통하지 않는다는 전제하에 실험을 진행하였다.

먼저 수직자세로 측정할 수 있게 돼지 눈을 고정 한 후, 공기압력 조절장치를 이용하여 안압을 70 mmHg까지 올려 전방에 공기가 채워지는 것을 확인하였다. 2분간 기다린 후 corneal wetting을 하고 안압 측정을 시작하였다. 총 3회의 유의한 값이 얻어지면 채워진 공기압력을 10 mmHg 내려 60 mmHg가 되게 하고 2분간 기다린 후 corneal wetting을 하고 안압을 측정하였다. 이와 같은 방식으로 설정한 공기압력이 10 mmHg가 될 때까지 측정하였다. 수직 자세의 모든 안압구간에서 측정이 끝나면 수평 자세로 측정할 수 있게끔 조정 한 뒤, 마찬가지로 방법으로 높은 압력에서 낮은 압력 순서로 안압을 측정하였다.

리바운드 안압계로 측정한 안압과 유도된 공기 압력(설정안압)과의 상관 관계를 알기 위해 Spearman 상관분석을 하였다. 두 자세로 측정된 안압 사이의 동일성 여부를 알기 위해 Bland-Altman 도표를 사용하였다. 두 자세에서 측정

한 안압 간의 평균 차이를 보기 위해 대응 2 검정(Wilcoxon signed rank test)을 시행하였다. 또한 리바운드 안압계의 측정 자세에 따른 검사자내 변이도를 비교하기 위해 급내 상관관계수(model; two-way mixed, type; absolute agreement)를 계산하였다.

통계학적 분석은 demonstration version of Medcalc 12.7.5 (MedClac Software, Ostend, Belgium)와 SPSS Version 19.0 doctor's pack (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였으며 유의수준은 0.05 미만으로 정하였다.

결 과

리바운드 안압계로 수직 및 수평 자세에서 측정한 안압은

설정안압과 뚜렷한 양의 상관관계를 보였다(각각 $r=0.992$, $r=0.985$, $p<0.001$) (Fig. 1). 또한 Bland-Altman 도표에서 거의 모든 값들이 두 측정값(설정안압과 측정안압) 차이의 평균에서 ± 1.96 표준편차 내에 위치하였다(Fig. 2). 그러나 두 자세에서 리바운드 안압계로 측정한 값 모두 설정안압보다 유의하게 낮게 나왔다($p<0.01$, Wilcoxon signed rank test). 설정안압이 높아질수록 설정안압보다 낮게 측정되는 정도가 증가하는 경향을 보였다.

리바운드 안압계의 수직자세와 수평자세에서의 측정값을 비교했을 때, Bland-altman plot에서는 거의 모든 값들이 두 측정값 차이의 평균에서 ± 1.96 표준편차 내에 위치하였다. 설정안압이 10 mmHg, 50 mmHg, 60 mmHg, 70 mmHg 일 때는 같은 설정안압에서의 수직자세 측정값과 수평자세

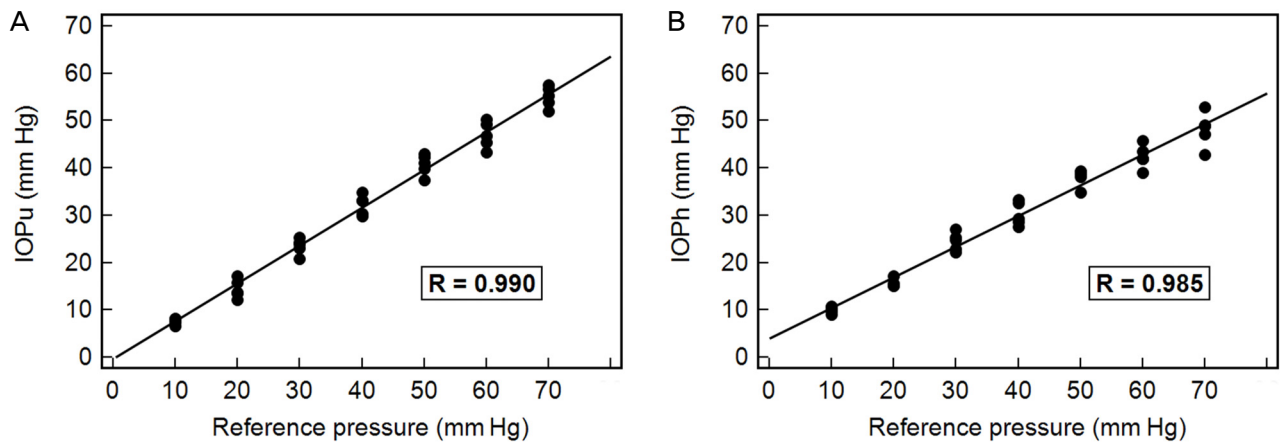


Figure 1. Scatter plots showing the correlation between intraocular pressure with Icare PRO in the upright (IOPu) and horizontal (IOPh) position, respectively. They show reasonably good linear correlations between the measured IOP and reference pressure. Icare PRO measurements (Y-axis) are plotted against reference pressure (X-axis). Solid line indicates regression line whose formulae are $y = 0.802x - 0.581$ (A), $y = 0.648x + 3.927$ (B). (A) Upright position, (B) horizontal position.

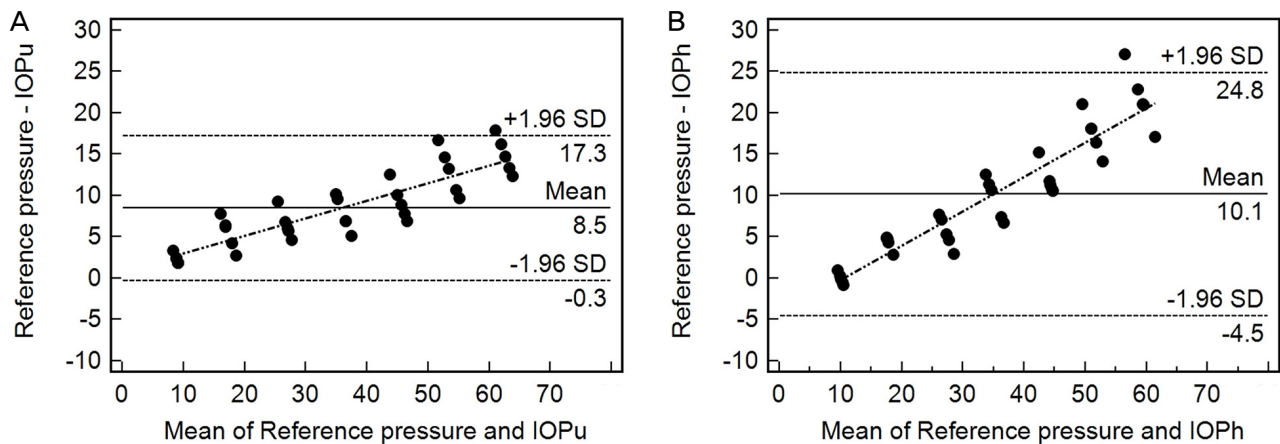


Figure 2. Bland-Altman plots including linear regression for all included eyes. X-axis: mean of reference pressure and IOP measurements performed in the upright position (IOPu) (A), IOP measurements performed in the horizontal position (IOPh) (B). Y-axis: difference between reference pressure with IOPu (A), IOPh (B). Solid line: bias (A: 8.5; B: 10.1). Dotted lines: 95% limits of agreement (A: -0.3 to 17.3; B: -4.5 to 24.8). Dashed line: slope (A: 0.21; B: 0.42 (p -value < 0.001)). IOP = intraocular pressure.

Table 1. Mean IOP measured by Icare PRO rebound tonometer in the upright and horizontal positions at each reference pressure level

Reference pressure (mm Hg)	IOPu (mm Hg)	IOPh (mm Hg)	IOPu-IOPh	
			MD \pm SD	p-value*
10	7.59 \pm 0.58	10.02 \pm 0.71	-2.42 \pm 0.50	<0.001
20	14.49 \pm 2.00	15.65 \pm 0.87	-1.17 \pm 1.98	0.257
30	23.50 \pm 1.74	24.44 \pm 1.94	-0.94 \pm 2.52	0.450
40	32.23 \pm 2.11	30.25 \pm 2.55	1.98 \pm 3.13	0.230
50	40.75 \pm 2.18	38.05 \pm 1.87	2.70 \pm 1.53	0.017
60	46.98 \pm 2.87	42.39 \pm 2.53	4.59 \pm 3.33	0.037
70	55.07 \pm 2.23	48.15 \pm 3.63	6.93 \pm 3.90	0.017

Values are presented as mean \pm SD.

IOP = intraocular pressure; MD = mean difference; SD = standard deviation; IOPu = IOP measurements by Icare PRO in upright position; IOPh = IOP measurements by Icare PRO in horizontal position.

*Wilcoxon signed rank test.

Table 2. Intraclass correlation coefficients for repeated measurements by Icare PRO rebound tonometer in the upright and horizontal positions at each reference pressure level

Reference pressure (mm Hg)	ICC (95% CI, p-value)	
	IOPu	IOPh
10	0.933 (0.698-0.992, <0.001)	0.222 (-4.091 ~ 0.918, 0.359)
20	0.948 (0.770-0.994, <0.001)	0.272 (-1.814 ~ 0.914, 0.315)
30	0.937 (0.671-0.993, <0.001)	0.681 (-1.199 ~ 0.947, 0.104)
40	0.911 (0.584-0.990, <0.001)	0.811 (0.232-0.978, 0.007)
50	0.949 (0.774-0.994, <0.001)	0.707 (-0.092 ~ 0.965, 0.043)
60	0.984 (0.924-0.998, <0.001)	0.740 (-0.679 ~ 0.972, 0.070)
70	0.953 (0.769-0.995, <0.001)	0.914 (0.540-0.991, 0.004)

ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval; IOPu = IOP measurements by Icare PRO in upright position; IOPh = IOP measurements by Icare PRO in horizontal position.

측정값이 유의하게 다르게 나왔다($p < 0.05$, Wilcoxon signed rank test). 30 mmHg 이하 구간에서는 수평자세 측정값이, 40 mmHg 이상 구간에서는 수직자세 측정값이 더 크게 나오는 경향을 보여주었다(Table 1).

급내 상관계수는 수직자세에서 측정할 때 0.911에서 0.984 ($p < 0.001$)로 수평자세에서 측정할 때의 0.707에서 0.914 ($p < 0.05$ only at 40, 50, 60 mmHg of reference pressure)보다 더 크게 나왔다(Table 2).

고 찰

최근 얇은 자세뿐 아니라 누워 있는 자세에서도 안압 측정이 가능한 Icare Pro 제품이 출시되어 리바운드 안압계에 대한 관심이 크다. 임상에서의 활용도가 높아지고 있는 만큼 리바운드 안압계로 수직자세뿐 아니라 수평 자세에서 측정할 때의 정확도 및 신뢰도에 대한 평가는 매우 중요하다.

사람에서 안압은 자세에 따라 값에 유의한 차이가 있다고 알려졌다.¹¹⁻¹³ 안압계를 수직 자세 및 수평자세에서 측정했을 때의 정확도와 신뢰도를 비교하기 위해서는 자세에 따라 생리학적 기전¹⁴으로 안압이 달라질 수 있다는 사실을 간과해서는 안 된다. 따라서 혈액순환, 안구박동 등 생리학

적 변화 요소를 배제하기 위해 적출된 동물 눈을 이용해 ex vivo 환경에서 실험을 하였다.

안압 구간에 따라 리바운드 안압계와 골드만 압평안압계 측정값 사이에 일치도가 달라진다는 보고가 있어¹⁵ 안압을 인위적으로 조작해 10 mmHg에서 70 mmHg까지 넓은 구간에서 10 mmHg 간격으로 측정값의 정확도 및 신뢰도를 판단하고자 하였다. 안압을 조작하는 방법으로 전방 삼관법 및 공기 충전법(barometric pressure)을 선택하였다. 실제로 전방은 액체인 방수로 채워져 있기 때문에 공기보다는 액체를 채워 실험하는 것이 생리적인 상황을 잘 반영할 수 있을 것이다. 하지만 과거에 전방을 공기로 채운 후 측정한 리바운드 안압계 측정값이 실제 안압을 잘 반영했다는 실험이 보고된 바 있으며, 이에 대해 Lee et al¹⁶은 공기를 이용해도 안압 측정의 정확도에는 영향이 없다고 말하였다. 이것을 근거로 액체 대신 공기압을 사용하는 방법을 택하였으나, 액체에 비해 공기가 유동성이 더 큰 점과 과거 연구 결과에 대한 검증이 많지 않은 점으로 볼 때 이 부분은 추후 보완될 필요가 있다. 안압을 조작하는 과정에서 생기는 조직손상 및 각막 생체역학인자 변화를 최소화할 수 있는 방법에 대한 고민도 필요하다.

Löbner et al¹⁷과 Wang et al¹⁸의 보고와 같이 수직 자세에

서의 리바운드 안압 측정값은 실제 안압과 뚜렷한 양의 상관관계를 보였다. 본 실험에서 추가로 시행한 수평 자세에서 측정된 안압 또한 설정안압과 강한 상관관계를 보였다. 하지만 두 자세에서 측정된 안압 모두 설정안압보다 통계적으로 유의하게 낮게 나와 저평가되는 것을 알 수 있다. 이것은 Löbler et al¹⁷과 Wang et al¹⁸의 연구와 비슷한 결과이며 안압이 높아질수록 저평가되는 정도가 커지는 경향 역시 비슷하다.

리바운드 안압계 측정값이 낮게 나온 이유로 돼지 눈의 각막 생체역학인자 영향을 생각할 수 있다. Chihara¹⁹는 실제 안압은 측정된 안압에 중심각막두께, 각막곡률뿐 아니라 점탄성, 눈물층 등의 요인을 감안해야 한다고 하였다. Hallberg et al²⁰은 Orbscan (Bausch & Lomb, USA)을 이용해 돼지 눈의 각막 특성이 사람과 다를 것을 보여주고, 이것이 돼지 눈의 골드만 압평안압계 측정값이 낮게 측정된 이유로 제시하였다. 본 실험에서는 골드만 안압을 측정하지 않았으나 돼지 눈의 각막 특성상 골드만 압평안압계를 사용해서도 낮게 측정될 가능성이 있다면, 저평가된 것이 리바운드 안압계에 의한 것이라고 말하기는 어려울 것이다.

저평가될 수 있는 다른 가능성으로 사람을 대상으로 고안된 안압계를 돼지 눈에 사용한 점을 생각할 수 있다. Reuter et al²¹이 TonoVet (Icare Finland Oy, Helsinki, Finland)을 이용한 실험에서 측정값들 내에 명확한 종별 편차가 있는 것을 증명한 것과 같은 맥락으로 볼 수 있다.

수직자세 측정값과 수평자세 측정값은 Bland-Altman plot에서 좋은 일치도를 보였으나 Wilcoxon signed rank test에서는 다소 다른 결과를 보여주었다. 설정안압이 10, 50, 60, 70 mmHg일 때 두 자세에서 측정된 안압끼리는 서로 유의하게 달랐으며, 10 mmHg에서는 수평자세 측정값이, 50-70 mmHg일때는 수직자세 측정값이 더 높게 나왔다 (Table 1). 두 자세에서 리바운드 안압계로 측정한 안압의 변화 추이를 비교해보면, 실제 안압이 30 mmHg 초과 40 mmHg 미만 구간을 기준으로 그 아래 안압구간에서는 수평자세 측정값이 더 크고, 그 위 안압구간에서는 수직자세 측정값이 더 커지는 규칙성이 보인다. 실제안압 30 mmHg 이하에서는 수평자세 측정값이 실제 안압에 더 가까운 값을 보여주어 physiologic range의 안압구간에서는 수평자세에서 측정한 것이 실제 안압을 더 잘 반영하였다. 하지만 총 3번의 의미 있는 안압을 구하기까지 횟수도 생각해봐야 할 점이다. 수직자세에서 측정할 때는 모든 안압 구간에서 4번 측정 이내로 총 3회의 유의한 안압 측정값을 얻을 수 있었다. 하지만 수평자세의 낮은 안압구간(특히 10, 20 mmHg)은 5안 모두에서 10회 이상 시도해야 유의한 데이터를 얻을 수 있었다. 유의한 데이터를 통해서는 실제 안압에

더 가까운 값을 얻을지라도 그 데이터를 얻는 것이 어렵다면 좋은 측정도구라고 할 수 없을 것이다. 수평자세에서 유의한 측정값을 얻기 어려운 것이 이번 실험에서만 그런 것인지, 리바운드 안압계의 특성인지는 앞으로 추가적인 연구가 더 필요하겠다.

급내 상관계수를 계산한 결과, 수평자세에서 측정할 때의 검사자내 변이도가 더 높아 수직자세에서 측정하는 것보다 검사신뢰도가 낮았다. 수평자세에서 측정 가능한 것이 Icare Pro 모델의 장점임에도 불구하고 수직자세에서 측정하는 것보다 뚜렷하게 신뢰도가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 수평자세에서도 측정 가능하게 한 기술적 방법에서 더 높은 검사 신뢰도를 위해 더 보완할 점이 있는 것은 아닌지 생각해볼 필요가 있겠다.

사람을 대상으로 고안된 안압계를 돼지 눈에 사용한 실험이라는 점, 전방에 액체가 아닌 공기를 채워서 조작한 공기안압(barometric pressure)을 실제 안압이라고 가정하고 진행했다는 점, 실험 대상의 개체수가 적다는 점에서 한계점을 가질 수 있다. 설정안압과 측정값이 상관관계는 있었으나 값 차이가 큰 편인데, needle tonometer를 이용하여 돼지 눈의 실제 압력을 측정해볼 수 있었다면 더 신뢰할 수 있는 의견을 제시할 수 있었을 것이다. 하지만 ex vivo 실험 모델을 만들어 넓은 안압 구간에서 자세에 따른 안압측정의 정확도와 신뢰도를 비교한 점에서 좋은 시도였다고 볼 수 있겠다.

요약하면 적출된 돼지 눈에서 리바운드 안압계를 이용해 안압을 측정했을 때, 수직 및 수평 두 자세 모두에서 실제 유도된 공기압력보다 낮게 측정되긴 했으나, 뚜렷한 선형 상관관계를 보여주었다. 이것은 선형 회귀분석으로 계산된 일차함수를 이용해 측정값으로부터 실제 안압을 계산할 수 있다는 것을 의미한다. 수평 자세에서 측정하는 방법은 상대적으로 낮은 신뢰도를 보여주어 이에 대한 추가 연구 및 해결이 필요하다.

REFERENCES

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Davies LN, Bartlett H, Mallen EA, Wolffsohn JS. Clinical evaluation of rebound tonometer. Acta Ophthalmol Scand 2006;84:206-9.
- 4) Kontiola AI. A new induction-based impact method for measuring

- intraocular pressure. *Acta Ophthalmol Scand* 2000;78:142-5.
- 5) 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.
 - 6) 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.
 - 7) Fernandes P, Diaz-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.
 - 8) López-Caballero C, Contreras I, Muñoz-Negrete FJ, et al. [Rebound tonometry in a clinical setting. Comparison with applanation tonometry]. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2007;82:273-8.
 - 9) 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.
 - 10) Jablonski KS, Rosentreter A, Gaki S, et al. Clinical use of a new position-independent rebound tonometer. *J Glaucoma* 2013;22:763-7.
 - 11) Chiquet C, Custaud MA, Le Traon AP, et al. Changes in intraocular pressure during prolonged (7-day) head-down tilt bedrest. *J Glaucoma* 2003;12:204-8.
 - 12) Prata TS, De Moraes CG, Kanadani FN, et al. Posture-induced intraocular pressure changes: considerations regarding body position in glaucoma patients. *Surv Ophthalmol* 2010;55:445-53.
 - 13) Tsukahara S, Sasaki T. Postural change of IOP in normal persons and in patients with primary wide open-angle glaucoma and low-tension glaucoma. *Br J Ophthalmol* 1984;68:389-92.
 - 14) Fekke GT, Pasquale LR. Retinal blood flow response to posture change in glaucoma patients compared with healthy subjects. *Ophthalmology* 2008;115:246-52.
 - 15) 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;46:875-9.
 - 16) Lee EJ, Park KH, Kim DM, et al. Assessing intraocular pressure by rebound tonometer in rats with an air-filled anterior chamber. *Jpn J Ophthalmol* 2008;52:500-3.
 - 17) Löbler M, Rehmer A, Guthoff R, et al. Suitability and calibration of a rebound tonometer to measure IOP in rabbit and pig eyes. *Vet Ophthalmol* 2011;14:66-8.
 - 18) Wang X, Dong J, Wu Q. Twenty-four-hour measurement of IOP in rabbits using rebound tonometer. *Vet Ophthalmol* 2013;16:423-8.
 - 19) Chihara E. Assessment of true intraocular pressure: the gap between theory and practical data. *Surv Ophthalmol* 2008;53:203-18.
 - 20) Hallberg P, Santala K, Lindén C, et al. Comparison of Goldmann applanation and applanation resonance tonometry in a biomicroscope-based in vitro porcine eye model. *J Med Eng Technol* 2006;30:345-52.
 - 21) Reuter A, Müller K, Arndt G, Eule JC. Accuracy and reproducibility of the TonoVet rebound tonometer in birds of prey. *Vet Ophthalmol* 2010;13 Suppl:80-5.

= 국문초록 =

돼지 눈 실험 모델에서 리바운드 안압계의 수직 및 수평 측정값의 정확성과 반복성 비교

목적: 안압을 조절할 수 있는 돼지 눈 실험모델에서 Icare PRO로 수직 및 수평자세에서 측정한 안압의 정확도와 신뢰도를 비교하고자 한다.

대상과 방법: 전방에 30게이지 바늘을 삽입한 후 공기를 채워 안압을 조절하는 실험모델을 만들었다. 총 5안에서 설정안압을 70 mmHg에서 10 mmHg까지 조정하면서 수직 및 수평자세에서 안압을 측정하였다. 두 자세에서 설정안압 구간별로 측정된 값으로 상관 분석, 평균분석, Bland & Altman 분석을 하였고, 급내상관계수를 계산하였다.

결과: 두 자세에서 측정한 값 모두 설정안압과 뚜렷한 상관관계(각각 $r=0.992$ 와 0.985 ; $p<0.001$)를 보였으나 모든 측정값은 설정안압보다 낮게 측정되었다. Bland & Altman 도표는 각 자세에서 측정된 값과 설정안압 사이의 동일성을 보여주었다. 두 자세에서 측정한 안압 사이에는 Bland & Altman 분석에서는 동일성을 보였으나, 윌콕슨부호순위 검정에서는 설정안압 50 mmHg 이상에서 평균이 유의하게 다르게 나왔다. 수직 자세에서 설정안압 구간별로 계산한 급내상관계수는 0.911에서 0.984였으나, 수평자세에서는 0.707에서 0.914의 범위를 보였다.

결론: 돼지 눈에서 Icare PRO로 수직 및 수평자세에서 측정한 안압은 설정안압과 좋은 상관관계를 보여 높은 정확도를 보여주었다. 하지만 두 자세의 모든 측정값은 설정안압보다 유의하게 낮았고, 이런 경향은 설정안압이 높을수록, 수평자세일수록 더 뚜렷하였다. 리바운드 안압계는 수평자세에서 측정할 때 더 낮은 검사자내 신뢰도를 보였다.

〈대한안과학회지 2015;56(2):228-233〉