

## 접촉식 초음파와 저간섭성 반사계 간의 안축장 및 백내장수술 후 굴절력의 비교

### Comparison of Axial Length and Postoperative Refraction between Applanation Ultrasonography and Low-coherence Reflectometry

이윤표 · 신영주 · 이가영

Yoon Pyo Lee, MD, Young Joo Shin, MD, PhD, Kayoung Yi, MD, PhD

한림대학교 의과대학 강남성심병원 안과학교실

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

**Purpose:** To compare axial length applanation ultrasonography (A-scan) (CineScan B-Scan; Quantel Medical, Bozeman, MT, USA) and low-coherence reflectometry (Lenstar LS900<sup>®</sup>; Haag-Streit, Bern, Switzerland), the accuracy of the predictive postoperative refraction of both instruments, and the intraocular lens (IOL) calculators.

**Methods:** A total of 250 eyes of 191 patients who received cataract surgery were included in the study. The axial length was measured by the A-scan and Lenstar LS900<sup>®</sup>. The SRK-2, SRK/T, and Olsen formulas were used to calculate the IOL power, and the difference between the predictive and actual postoperative refractions after 6 weeks and the probability that they were within 0.25 diopters (D) and 0.5 D were compared.

**Results:** The mean axial lengths measured by the A-scan and Lenstar LS900<sup>®</sup> were  $23.42 \pm 0.94$  mm and  $23.55 \pm 0.95$  mm, respectively, which showed a statistically significant difference (paired *t*-test,  $p = 0.000$ ). When comparing the difference between the predictive and actual postoperative refractions, the results of the A-scan using the SRK-2 and SRK/T formulas were significant toward the hyperopia, and the results of the Lenstar LS900<sup>®</sup> using the SRK-2, SRK/T, and Olsen formulas were significant toward the myopia (paired *t*-test,  $p = 0.001$  and  $p < 0.001$ , respectively). When comparing the mean absolute difference between the two refractions and the probability that they were within 0.25 D and 0.5 D, the Lenstar LS900<sup>®</sup> using the Olsen formula significantly showed the highest accuracy (McNemar test,  $p = 0.045$  and  $p = 0.002$ ;  $p = 0.010$  and  $p = 0.002$ , respectively).

**Conclusions:** The A-scan using the SRK-2 and SRK/T formulas showed that the actual postoperative refraction was more hyperopic than the predicted refraction, whereas the Lenstar LS900<sup>®</sup> resulted in more myopic findings. The accuracy of predictive postoperative refraction was highest with the Lenstar LS900<sup>®</sup> using the Olsen formula.

J Korean Ophthalmol Soc 2018;59(7):629-636

**Keywords:** Applanation ultrasonography, Axial length, Cataract surgery, Low-coherence reflectometry, Postoperative refraction

■ Received: 2018. 2. 14.      ■ Revised: 2018. 5. 9.

■ Accepted: 2018. 6. 26.

■ Address reprint requests to **Kayoung Yi, MD, PhD**  
Department of Ophthalmology, Hallym University Kangnam  
Sacred Heart Hospital, #1 Singil-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul  
07441, Korea  
Tel: 82-2-829-5196, Fax: 82-2-848-4638  
E-mail: kayoungyi@yahoo.co.kr

\* Conflicts of Interest: The authors have no conflicts to disclose.

백내장수술은 단순히 혼탁해진 수정체를 제거하고 투명한 인공수정체를 삽입하는 것뿐만 아니라 수술 후 환자의 굴절상태를 목표치에 정확하게 예측하여 교정하는 것을 목표로 하게 되었다. 따라서 백내장수술 전 인공수정체 도수 결정을 위한 안구생체계측은 환자의 수술 후 만족도에 영향을 미치는 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 이전부터 접촉식 초음파(A-scan)를 이용한 안축장 측정이 백내장수술

전 검사의 표준으로 여겨져 왔으나, 이는 각막에 탐침자가 직접 접촉하는 방식으로 검사자에 따른 오차가 크다는 단점이 있고,<sup>1,2</sup> 각막 손상의 가능성도 있다. 최근에는 광학적 방법으로 안구생체계측을 시행하는 장비들이 개발되고 있는데 이들의 장점은 비접촉 측정이 가능하다는 것과 검사가 쉽고 한 번의 검사로 여러 가지의 안구생체계측 변수를 얻을 수 있다는 것이다. 또한 수많은 인공수정체 모델과 인공수정체 도수 계산 공식들이 내장되어 있어 술자가 원하는 목표치에 해당하는 도수를 상황에 맞게 얻을 수 있다.<sup>3-6</sup>

본 연구에서는 백내장수술 시 인공수정체 도수 결정을 위해 A-scan (CineScan B-Scan, Quantel Medical, Bozeman, MT, USA)과 Lenstar LS900<sup>®</sup> (Haag-Streit, Bern, Switzerland)으로 측정된 안축장을 비교하였고, 자동굴절검사기와 Lenstar LS900<sup>®</sup>으로 측정된 각막굴절력을 비교하였다. 또한 각각의 장비를 통해 얻은 안구생체계측 값과 SRK-2, SRK/T, Olsen 인공수정체 계산 공식으로 계산한 예측 굴절력과 백내장수술 후 실제 굴절력 간의 오차를 통해 굴절력 예측의 정확성을 비교하고자 하였다.

## 대상과 방법

2016년 1월부터 2017년 6월까지 본원에서 백내장수술(수정체유화술 및 뒷방인공수정체삽입술)을 받은 250안(191명)을 대상으로 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 인공수정체는 TECNIS ZCB00 (AMO, Santa Ana, CA, USA)를 142안에서, AcrySof SN60WF (Alcon, Fort Worth, TX, USA)를 108안에서 사용하였다. Lenstar LS900<sup>®</sup>으로 측정이 불가능한 경우, 각막 혼탁 등 각막질환 혹은 망막질환이 있는 경우, 이전에 굴절교정술을 받은 경우, 유리체절제술과 병합수술을 받은 경우, 수술 중 후낭파열 등의 합병증이 발생한 경우는 본 연구에서 제외하였다. 본 연구는 한림대학교 강남성심병원 임상시험심사위원회의 승인을 받았다.

수술 전 검사는 두 명의 숙련된 검사자에 의해 시행되었으며, 자동굴절검사, Lenstar LS900<sup>®</sup>, 접촉식 초음파(A-scan)의 순서로 안구생체계측을 시행하였다. 인공수정체 도수 계

산은 A-scan과 Lenstar LS900<sup>®</sup> 공통적으로 안축장이 25 mm 미만일 경우 SRK-2 공식을, 25 mm 이상일 경우 SRK/T 공식을 이용하였으며, 추가적으로 Lenstar LS900<sup>®</sup>에서 Olsen 공식 또한 이용하였다. A-scan의 안축장으로 인공수정체 도수 계산 시 각막굴절력은 자동굴절검사기(KR-800, Topcon, Tokyo, Japan)로 측정된 값을 이용하였으며, A 상수는 두 인공수정체 모두 제조사에서 제시한 값(ZCB00, SN60WF 각각 118.8, 118.7)을 사용하였다. Lenstar LS900<sup>®</sup>의 경우 장비가 측정된 안축장과 각막굴절력으로 장비에 내장된 인공수정체 도수 계산 프로그램을 이용하였다. 목표 도수는 각 장비와 공식들을 통해 계산된 예측 굴절력들을 분석하여 비교적 정시에 가장 가까운 근시값을 택하였다.

수술은 두 명의 술자(K.Y, Y.J.S)에 의해 시행되었으며, 각 장비들을 통해 계산한 예측 굴절력과 백내장수술 후 4-6 주 뒤의 실제 굴절력 간의 오차 및 오차의 절대값, 그리고 그 오차의 절대값이 0.25 D 이내와 0.5 D 이내일 확률을 각각 비교하였다.

통계학적 분석은 SPSS 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였고, Paired *t*-test와 Pearson correlation coefficient를 통해 각 기기의 계측치(안축장, 각막굴절력) 평균의 차이를 비교하고 상관관계를 분석하였다. 또한 각 기기로 측정된 안축장, 각막굴절력의 일치도를 확인하기 위해 Bland-Altman plot을 이용하였다. 그리고 각 기기의 예측 오차 및 예측 오차의 절대값을 Paired *t*-test를 통해 비교하였으며, 예측 오차의 절대값이 0.25 D 이내와 0.5 D 이내일 확률을 각각 McNemar test를 통해 비교하였다. *p*값의 유의 수준은 0.05 미만으로 정하였다.

## 결 과

총 250안, 191명의 환자(여자 165명, 남자 85명)를 대상으로 하였고, 피험자의 평균 나이는  $70.92 \pm 8.80$ 세였다(Table 1). 안축장의 평균은 A-scan에서  $23.42 \pm 0.94$  mm, Lenstar LS900<sup>®</sup>에서  $23.55 \pm 0.95$  mm였다. 각막굴절력의 평균은 자동굴절검사에서  $44.13 \pm 1.47$  D, Lenstar LS900<sup>®</sup>에서  $44.17$

Table 1. Demographic data of enrolled patients

	Mean (SD)	Range
Age (years)	70.90 (8.82)	39 to 89
Preoperative refraction (SE)	-0.11 (3.09)	-14.50 to 6.00
Postoperative refraction (SE)	-0.38 (0.64)	-3.25 to +1.50
IOL power (D)	21.07 (2.46)	+9.0 to +27.0
Central corneal thickness (μm)	534.06 (30.49)	447 to 626
Anterior chamber depth (mm)	2.57 (0.39)	1.57 to 3.64
Lens thickness (mm)	4.58 (0.39)	3.42 to 5.47

SD = standard deviation; SE = spherical equivalent; IOL = intraocular lens; D = diopters.

$\pm 1.47$  D였다. 각각의 장비로 측정된 안축장과 각막굴절력을 비교하였을 때, 안축장은 통계적으로 유의한 차이를 보였고 각막굴절력은 유의한 차이를 보이지 않았다(Paired *t*-test,  $p=0.000$ ,  $p=0.089$ ) (Table 2). A-scan 및 자동굴절검사기와 Lenstar LS900<sup>®</sup> 사이의 안축장 및 각막굴절력의 Pearson 상관계수는 0.988, 0.974로 각각의 기기 간에 서로 높은 상관관계를 보였다( $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ) (Fig. 1). 또한 측정 기기 간 안축장의 일치도를 비교한 Bland-Altman plot에서 A-scan과 Lenstar LS900<sup>®</sup> 사이의 95% limit of agreement는 -0.42~0.16이며, 9안을 제외한 모든 측정치가 이 범위 내에 존재해 비교적 높은 일치율을 보였다. 각막굴절력에 대한 자동굴절검사기와 Lenstar LS900<sup>®</sup> 사이의 측정치 비교에서도 Bland-Altman plot상 95% limit of agreement는 -0.71~0.60이며, 12안을 제외한 모든 측정치가 이 범위 내에 존재해 비교적 높은 일치율을 보였다(Fig. 2).

백내장수술 후 A-scan (SRK-2/T), Lenstar LS900<sup>®</sup> (SRK-2/T) 및 Lenstar LS900<sup>®</sup> (Olsen)을 이용해 계산된 굴절력의 예측 오차는 각각 0.083 D, -0.072 D, -0.041 D였다. A-scan (SRK-2/T)을 이용한 경우에 Lenstar LS900<sup>®</sup> (SRK-2/T) 및 Lenstar LS900<sup>®</sup> (Olsen)을 이용한 경우보다 각각 0.155 D,

0.124 D만큼 원시 쪽으로 나왔고, 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Paired *t*-test,  $p=0.001$ ,  $p<0.001$ ) (Fig. 3A). 반면, Lenstar LS900<sup>®</sup> (SRK-2/T) 및 Lenstar LS900<sup>®</sup> (Olsen)을 이용한 경우에는 결과가 근시 쪽으로 나왔다. 예측 오차의 절대값 평균은 각각 0.531 D, 0.523 D, 0.399 D로 Lenstar LS900<sup>®</sup> (Olsen)을 이용한 경우에 가장 정확하였으며, A-scan (SRK-2/T) 및 Lenstar LS900<sup>®</sup> (SRK-2/T)과 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Paired *t*-test,  $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ) (Fig. 3B). 또한 예측 오차의 절대값이 0.25 D 이내와 0.5 D 이내일 확률은 각각 33.2%, 29.6%, 42%와 57.2%, 55.2%, 68%였고, 마찬가지로 Lenstar LS900<sup>®</sup> (Olsen)을 이용한 경우에 가장 정확하였으며, A-scan (SRK-2/T) 및 Lenstar LS900<sup>®</sup> (SRK-2/T)과 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다(McNemar test,  $p=0.045$ ,  $p=0.002$  and  $p=0.010$ ,  $p=0.002$ ) (Fig. 4).

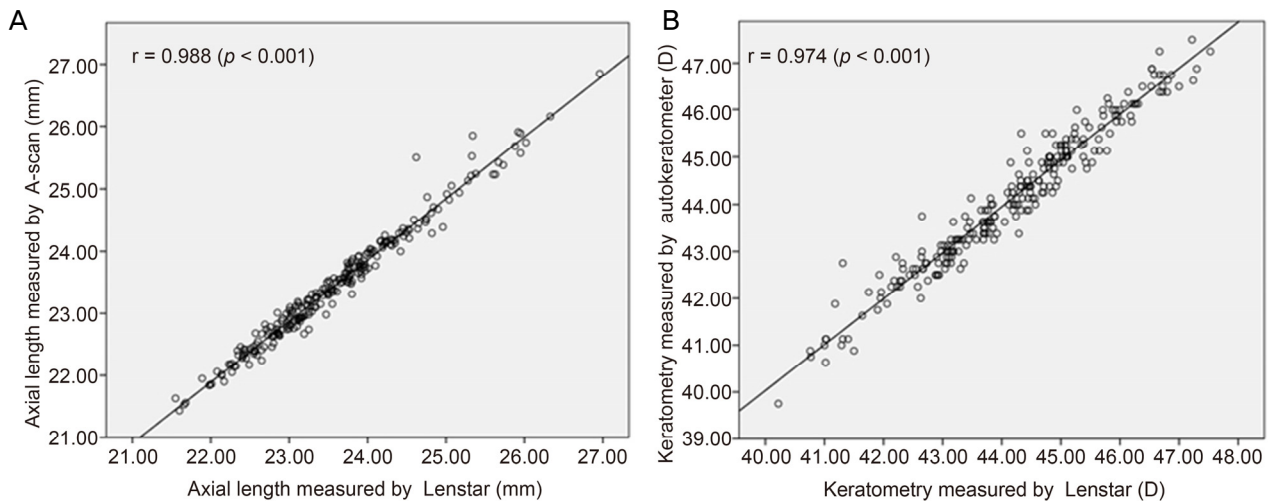
추가적으로 안축장이 25 mm 미만인 경우와 안축장이 25 mm 이상인 경우, 그리고 인공수정체를 ZCB00을 사용한 경우와 SN60WF를 사용한 경우를 각각 비교 및 분석하여 굴절력 예측의 정확성이 전체군과 차이가 없는지 확인해 보았다. 그 결과, 안축장(25 mm 기준)에 따른 각각의 결과와 인공수정체 종류(ZCB00, SN60WF)에 따른 각각의 결과는

**Table 2.** Comparison of biometric data (axial length, mean keratometry, central corneal thickness, anterior chamber depth, lens thickness) by Lenstar LS900<sup>®</sup>, A-scan and autokeratometer

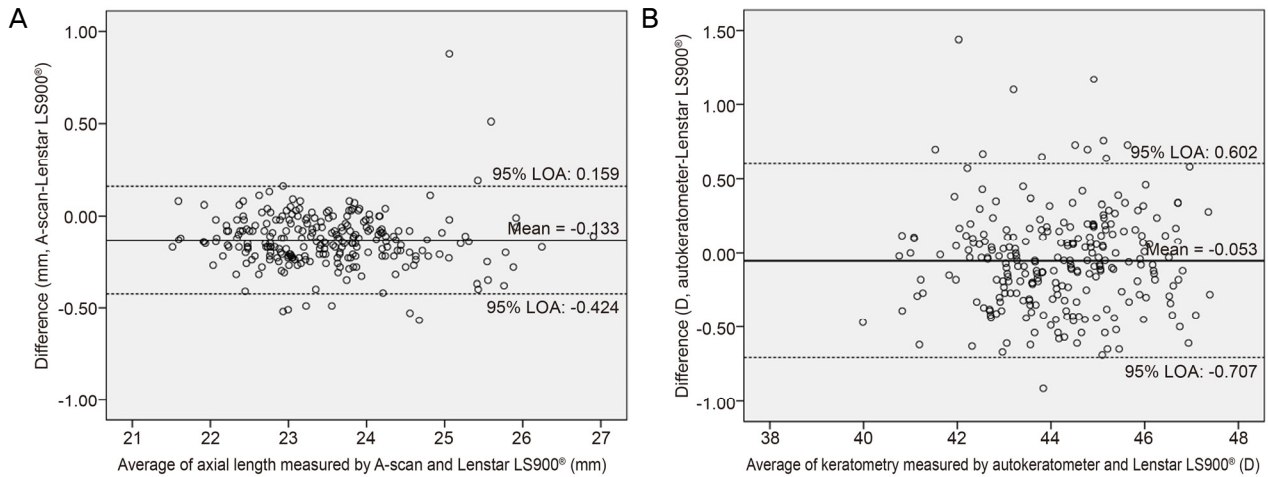
	A-scan and Autokeratometer		Lenstar LS900 <sup>®</sup>		<i>p</i> -value*
	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range	
AL (mm)	23.42 (0.94)	21.43 to 26.85	23.55 (0.95)	21.55 to 26.96	<0.001
Mean keratometry (D)	44.13 (1.47)	40.22 to 47.53	44.17 (1.47)	40.22 to 47.53	0.089

SD = standard deviation; AL = axial length.

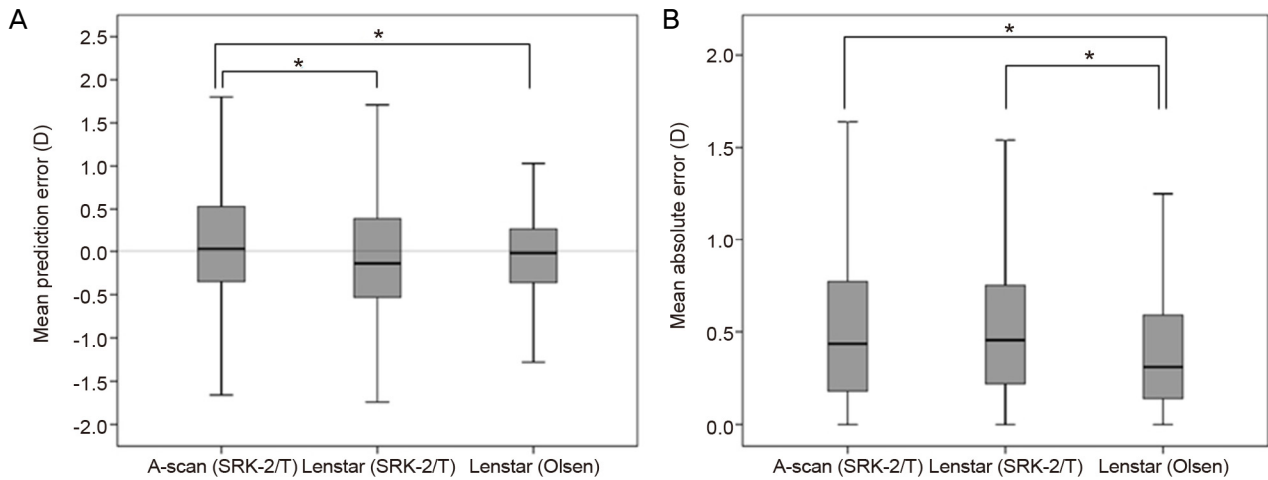
\*Paired *t*-test.



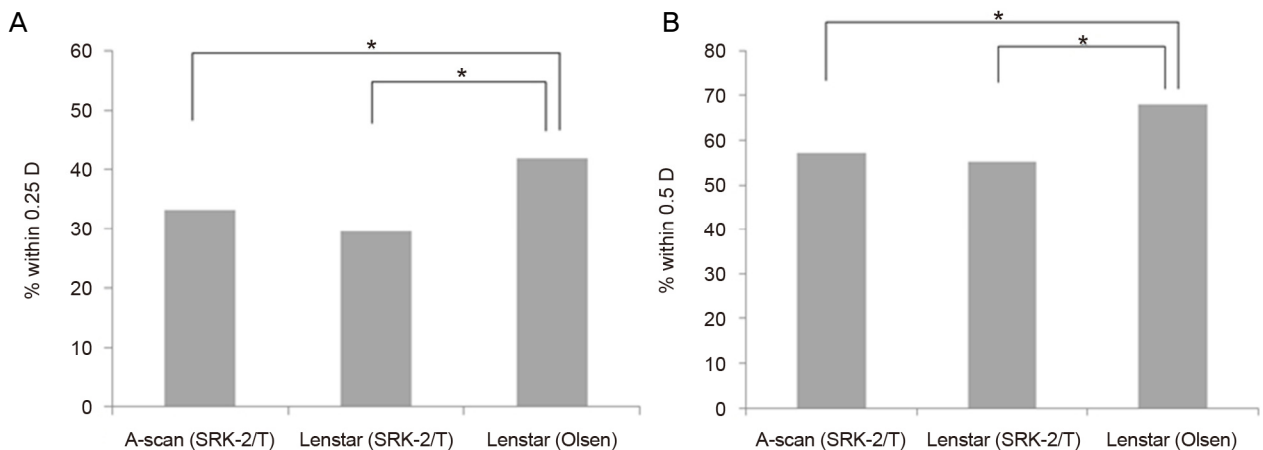
**Figure 1.** Correlation between biometric data (axial length, keratometry) measured by Lenstar LS900<sup>®</sup> and other devices (Pearson correlation analysis). Axial length measured by Lenstar LS900<sup>®</sup> and A-scan (A). Keratometry measured by Lenstar LS900<sup>®</sup> and autokeratometer (B). *r* = Pearson correlation coefficient.



**Figure 2.** Bland-Altman plot of axial length and keratometry. Bland-Altman plot of axial length between A-scan and Lenstar LS900® (A), keratometry between autokeratometer and Lenstar LS900® (B). LOA = limit of agreement.



**Figure 3.** Comparisons of accuracy of predictive postoperative refraction by mean prediction error (A), mean absolute error (B). ‘A-scan (SRK-2/T)’ is ‘measurement of A-scan using SRK-2 and SRK/T formulas’, ‘Lenstar (SRK-2/T)’ is ‘measurement of Lenstar LS900® using SRK-2 and SRK/T formulas’ and ‘Lenstar (Olsen)’ is ‘measurement of Lenstar LS900® using Olsen formula’. Bold line in gray box means ‘median value’, bottom line of gray box means ‘first quartile’, top line of gray box means ‘third quartile’, lower end of vertical line means ‘minimum value’, and upper end of vertical line means ‘maximum value’.  $p < 0.05$ , Statistically significant (Paired  $t$ -test).



**Figure 4.** Comparisons of accuracy using probability within 0.25 D and 0.5 D. Comparisons of probability that the difference between the predictive and actual postoperative refraction is within 0.25 D (A) and within 0.5 D (B).  $p < 0.05$ , Statistically significant (McNemar test).

전체군을 비교하였을 때의 결과와 동일하게 Lenstar LS900® (Olsen)을 이용한 경우에 굴절력 예측의 정확성이 가장 높았다(Table 3).

## 고 찰

백내장수술 후 환자의 만족도에는 수술 후 굴절력이 크게 기여한다. 그렇기 때문에 수술 후 굴절력 예측의 정확성을 높이기 위해 정확한 안구생체계측 및 인공수정체 도수 계산 공식은 필수적이다. 이를 위해 계속해서 새로운 안구생체계측 장비와 새로운 인공수정체 도수 계산 공식이 소개되고 있고, 점차 높은 정확성을 보여주고 있다.<sup>7,8</sup> 본 연구에서는 Lenstar LS900®을 이용하여 측정된 안구생체계측치를 기준에 사용되던 기기인 A-scan 및 자동굴절검사기의 계측치와 비교 분석하고, 최종적으로 백내장수술 후 4-6주 뒤에 실제 굴절력을 측정하여 굴절 예측치의 정확성을 평가하였다.

안축장은 두 기기 간 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 평균값은 A-scan (23.42 mm)이 Lenstar LS900® (23.55 mm)보다 0.13 mm 짧게 측정되었다. 또한 Bjeloš Rončević et al<sup>9</sup>은 접촉식 초음파 방식의 A-scan과 Lenstar LS900® 사이의 안축장 측정치를 32안에서 각각 5차례씩 측정하여 비교해 보았는데, 평균적으로 A-scan이 Lenstar LS900®에 비해 측정자 1은 0.248 mm, 측정자 2는 0.37 mm 짧게 측정되었다고 보고하였다. 접촉식 초음파는 검사 과정상 생기는 각막의 함입으로 안축장이 짧게 측정될 수 있고,<sup>1</sup> 또한 초음파를 이용한 A-scan은 안축장이 각막에서 망막의 내경계막까지의 거리를 측정하는 반면, 광원을 이용한 Lenstar

LS900®은 각막에서 망막색소상피층까지의 거리를 측정한다.<sup>10</sup> 이 때문에 안축장이 서로 다르게 측정될 수 있다. 뿐만 아니라 본 연구에서는 A-scan 측정 시 침수식(immersion) 초음파 방식을 사용하지 않고 접촉식(applanation) 초음파 방식을 사용하여 더욱 짧게 측정되었을 것으로 생각된다. Ademola-Popoola et al<sup>11</sup>은 침수식 초음파 방식이 물을 이용하여 각막의 직접적인 접촉을 피하여 각막의 함입이 발생하지 않아 접촉식 초음파 방식에 비해 안축장이 길게 측정된다고 보고한 바 있다.

각막굴절력의 경우, 자동굴절검사기와 Lenstar LS900® 사이에는 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 본 연구에 사용된 자동굴절검사기인 KR-800은 각막 표면에 비추어지는 약 3 mm 직경의 원 안에서 적외선에 의해 거울에 반사된 상이 카메라에 입력되어 각막곡률을 측정하는 방식이다. 반면, Lenstar LS900®은 light-emitting diode 광원을 각막 표면에 비추었을 때 보이는 패턴을 분석하여 각막곡률을 측정하는 방식이다. Lenstar LS900®의 경우 총 32개의 광원을 각막에 조사하는데, 이들은 직경이 각각 2.3 mm와 1.65 mm인 2개의 원에 각각 16개씩 나뉘어있다.<sup>12</sup> 본 연구에서 Lenstar LS900®은 자동굴절검사기보다 더 좁은 범위로 측정하였으나, 각막굴절력은 유사하게 측정되었다. Lin et al<sup>13</sup> 또한 115안에서 자동굴절검사기(KR-8800, Topcon, Tokyo, Japan)와 Lenstar LS900® 사이에 각막굴절력을 비교해 본 결과 통계적으로 유의한 차이가 없다고 보고하였다.

수술 후 A-scan (SRK-2/T), Lenstar LS900® (SRK-2/T) 및 Lenstar LS900® (Olsen)을 이용해 계산된 굴절력의 예측 오차는 각각 0.083 D, -0.072 D, -0.041 D였고, A-scan의 예측 오차는 나머지 값들과 각각 통계적으로 유의한 차이를 보

**Table 3.** Values of mean absolute error and probability that it is of within 0.25 D and 0.50 D according to axial length (IOL formula) and IOL model

			Mean absolute error (D)			Probability of mean absolute error within 0.25 D and 0.50 D (%)					
						Within 0.25 D			Within 0.50 D		
			n	A-scan (SRK)	Lenstar LS900® (SRK)	Lenstar LS900® (Olsen)	A-scan (SRK)	Lenstar LS900® (SRK)	Lenstar LS900® (Olsen)	A-scan (SRK)	Lenstar LS900® (SRK)
AL (IOL formula)	<25 mm	232	0.513	0.517	0.398	34.9	30.6	43.1	58.2	56	66.8
	(SRK-2)		(<0.001 <sup>*</sup> )	(<0.001 <sup>*</sup> )		(0.079 <sup>‡</sup> )	(0.003 <sup>‡</sup> )		(0.050 <sup>‡</sup> )	(0.011 <sup>‡</sup> )	
	≥25 mm	18	0.754	0.595	0.410	11.1	16.7	27.8	44.4	44.4	83.3
	(SRK/T)		(0.010 <sup>‡</sup> )	(0.008 <sup>‡</sup> )		(0.375 <sup>‡</sup> )	(0.500 <sup>‡</sup> )		(0.039 <sup>‡</sup> )	(0.016 <sup>‡</sup> )	
IOL model	ZCB00	142	0.536	0.519	0.407	35.9	25.4	40.1	54.9	54.9	67.6
			(0.002 <sup>*</sup> )	(<0.001 <sup>*</sup> )		(0.519 <sup>‡</sup> )	(0.004 <sup>‡</sup> )		(0.023 <sup>‡</sup> )	(0.021 <sup>‡</sup> )	
	SN60WF	108	0.524	0.527	0.388	29.6	35.2	44.4	60.2	55.6	68.5
			(0.003 <sup>‡</sup> )	(<0.001 <sup>*</sup> )		(0.034 <sup>‡</sup> )	(0.175 <sup>‡</sup> )		(0.243 <sup>‡</sup> )	(0.045 <sup>‡</sup> )	

IOL = intraocular lens; AL = axial length.

\*p-value of paired t-test compared to mean absolute error of Lenstar LS900® (Olsen); ‡p-value of Wilcoxon signed ranked test compared to mean absolute error of Lenstar LS900® (Olsen); †p-value of McNemar test compared to probability of mean absolute error within 0.25 D and 0.50 D of Lenstar LS900® (Olsen).

였다. 즉 A-scan을 이용하여 측정한 경우 상대적으로 원시 쪽으로, Lenstar LS900®을 이용하여 측정한 경우 상대적으로 근시 쪽으로 결과가 나오는 경향을 보였다. 반면, 50안을 대상으로 연구했던 Kim et al<sup>14</sup>은 수술 후 12주 뒤 예측 오차의 평균은 A-scan과 Lenstar LS900®에서 각각 -0.01 D, -0.22 D로 예측한 것보다 근시 쪽으로 결과를 보였다고 보고한 바 있다.

예측 오차의 절대값을 통해 수술 후 굴절력의 정확성을 비교하였을 때는 Lenstar LS900® (Olsen)을 이용한 경우에 가장 정확하였으며, 예측 오차의 절대값이 각각 0.25 D 이내와 0.5 D 이내일 확률을 통해 정확성을 비교하였을 때도 마찬가지로 Lenstar LS900® (Olsen)을 이용한 경우에 가장 높은 정확성을 보였다. 두 경우 모두 A-scan (SRK-2/T) 및 Lenstar LS900® (SRK-2/T)과 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 즉 같은 공식(SRK-2와 SRK/T)을 이용한 경우에는 두 기기 간 정확성은 통계적으로 유의한 차이가 없었지만, Lenstar LS900® 내에서 SRK-2와 SRK/T 공식을 사용한 경우보다 Olsen 공식을 사용한 경우 더 높은 정확성을 보였다. Blant-Altman plot에서 A-scan과 Lenstar LS900® 사이의 95% limit of agreement에 속하지 못한 9안, 즉 두 기기 간 안축장의 차이가 크게 났던 9안에서의 수술 후 굴절력의 정확성을 비교해 본 결과, 9안 중 6안에서 마찬가지로 Lenstar LS900® (Olsen)을 이용한 경우에 더 높은 정확성을 보였다.

다른 기존의 연구들에서도 두 기기 간 수술 후 굴절력의 정확성을 비교 분석하였다. Bjeloš Rončević et al<sup>9</sup>은 32안에서 SRK/T 공식을 이용하여 접촉식 A-scan과 Lenstar LS900®의 백내장수술 후 굴절력의 정확성을 비교해 본 결과 두 기기 간의 유의한 차이가 없다고 발표했다. Salouti et al<sup>15</sup>은 234안의 백내장수술에서 Sanders, Retzlaff, Kraff II, Hoffer Q, and Holladay 1 공식을 이용하여 접촉식 A-scan과 Lenstar LS900®의 굴절력 예측의 정확성을 비교해 본 결과 두 기기 간 매우 높은 상관관계를 보인다고 발표했다. 기존 국내의 연구에서도 Moon et al<sup>16</sup>은 수술 후 굴절력 예측 오차의 절대값 평균은 SRK/T 공식을 이용하였을 때 A-scan, AL-Scan®, OA-2000®, Lenstar LS900®의 순으로 낮게 나타났으나 통계적으로 의미있는 차이는 없다고 발표하였고, Shin et al<sup>17</sup> 또한 수술 후 굴절력 예측 오차의 절대값 평균은 SRK/T 공식을 이용하였을 때 A-scan, Lenstar LS900®, IOL master® 순으로 높게 나타났으나 통계적으로 의미있는 차이를 보이지는 않는 것으로 보고하였다.

Lenstar LS900®을 이용하여 인공수정체 도수 계산 공식 간 차이를 비교한 기존 연구들을 살펴보면, Cooke and Cooke<sup>7</sup>는 Lenstar LS900®을 통해 계산 가능한 9가지 공식(Olsen, Barrett Universal II, Haigis, T2, Super Formula,

Holladay 1, Holladay 2, Hoffer Q, SRK/T)의 예측 굴절력을 비교해 본 결과 Olsen 공식이 가장 정확하다고 보고한 반면, Melles et al<sup>8</sup>은 Lenstar LS900®을 통해 7가지 공식(Barrett Universal II, Haigis, Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, Olsen, SRK/T)의 정확성을 비교해 본 결과 Barrett Universal II 공식이 가장 정확하다고 보고하였다.

이처럼 백내장수술 전 검사의 표준으로 여겨져 왔던 접촉식 초음파 방식인 A-scan을 대체할 수 있는 비접촉식, 그리고 광학적 방법으로 안구생체계측을 시행할 수 있는 장비들이 꾸준히 소개되고 있다. 현재까지 Lenstar LS900®을 비롯하여 IOLMaster 500 (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany), AL-Scan (Nidek, Gamagori, Japan), OA-2000 (Tomey, Nagoya, Japan) 등의 비접촉식 검사 장비들이 소개되었고, 이들 간의 수술 후 굴절력 예측 정도를 비교하는 많은 연구들이 최근에도 계속 보고되고 있다.<sup>7,14,16-19</sup> 본 연구는 기존의 SRK/T 공식을 이용하여 A-scan과 Lenstar LS900®을 비교한 논문과 달리, 추가적으로 Lenstar LS900® 내에서 Olsen 공식도 함께 비교하였고, 이를 이용한 결과가 유의하게 더 정확하다는 결론을 얻었다는 데 의의가 있다.

하지만 Lenstar LS900®의 단점은 수정체의 혼탁이 심할 경우 측정이 되지 않을 수 있다는 점이다. 본 연구에서 제외된 환자 중 Lenstar LS900®이 측정되지 않고 A-scan만 측정되는 환자가 같은 기간 내에 20명이 있었다. 이 환자들의 백내장 유형을 살펴본 결과 핵백내장이 심한 경우가 9명, 후낭하백내장이 심한 경우가 8명, 전낭하백내장이 심한 경우가 3명이었다. 이들의 굴절력의 예측 오차 및 예측 오차의 절대값은 각각 0.175 D, 0.576 D로 위 환자군과 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다(Mann-Whitney U test,  $p=0.685$ ,  $p=0.523$ ).

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫 번째로 백내장수술 후 실제 굴절력 측정 시기가 수술 후 4-6주째로 일정하지 않다는 점이다. 본 연구는 후향적으로 250명의 환자의 의무기록을 분석하였기 때문에 수술 후 굴절력 측정 시기를 동일하게 정하지 못하였다. 두 술자 모두 수술 후 경과관찰을 일반적으로 수술 후 1일째, 1-2주째, 4-6주째 시기에 시행하였다. 백내장수술 후 8일에서 15일 사이에 굴절력이 안정화된다고 알려져 있지만,<sup>20</sup> 본 연구에서는 조금 더 확실하게 굴절력이 안정화될 수 있는 그 다음 경과관찰 시기인 수술 후 4-6주째의 굴절력을 바탕으로 비교 및 분석하였다. 이처럼 환자마다 수술 후 굴절력 측정 시기의 차이가 최대 2주까지 발생할 수 있는데, 이는 본 연구의 제한점으로 작용했을 것이라 생각된다. 두 번째로 A-scan과 Lenstar LS900® 두 가지 장비의 예측 굴절력 정확성을 비교할 때 SRK-2, SRK/T 두 가지 공식을 동시에 사용했다는 점이다. 통계적으로 정확한 비교를 위해서는 한 가지 공식만을 적

용하여 비교하는 것이 타당하나, 본 연구에서는 임상적으로 더 정확한 예측값을 얻기 위해 안축장 길이에 따라 공식을 달리 적용하였다. Özcura et al<sup>21</sup>은 25 mm 미만의 안축장에서는 SRK-2 공식이, 25 mm 이상의 안축장에서는 SRK/T 공식이 가장 낮은 굴절력 오차의 절대값을 보였다고 보고하였으며, 또한 안축장이 긴 근시(안축장>24.5 mm)에서는 SRK-2보다 SRK/T 공식이 더 정확하다는 보고도 있다.<sup>22,23</sup>

이에 본 연구에서도 안축장 25 mm를 기준으로 공식을 달리 적용하였다. 세 번째로 두 명의 술자가 수술을 진행하였고 술자에 따라 사용한 인공수정체 종류가 달라 두 가지의 인공수정체 모델을 동시에 통계적으로 비교 분석하는 데 사용했다는 점이다. 이로 인해 발생할 수 있는 술자와 인공수정체 종류에 따른 영향은 본 연구에서 고려하지 못하였다.

이에 저자들은 안축장이 25 mm 미만인 경우와 안축장이 25 mm 이상인 경우를 각각 비교 분석하여 굴절력 예측의 정확성이 전체군과 차이가 없는지 확인해 보았다. 또한 인공수정체 모델에 따른 결과도 전체군과 차이가 없는지 확인해 보았다. 그 결과, 안축장(25 mm 기준)에 따른 각각의 결과와 인공수정체 종류(ZCB00, SN60WF)에 따른 각각의 결과는 전체군을 비교하였을 때의 결과와 동일하게 Lenstar LS900® (Olsen)을 이용한 경우에 굴절력 예측의 정확성이 가장 높다는 것을 확인하였다.

저자들은 본 연구에서 접촉식 초음파 장비인 A-scan, 자동굴절검사기, 저간섭성 반사계 장비인 Lenstar LS900®을 이용하여 얻은 안축장 및 각막굴절률을 비교하였고, 계측치를 바탕으로 백내장수술 후 굴절력 예측의 정확성을 세 가지 경우에서 비교하였다. 각 기기 간의 안축장은 통계적으로 유의한 차이를 보였으나, 안축장 및 각막굴절력 모두 비교적 높은 일치도와 높은 상관관계를 보였고, 세 가지 경우 모두 비교적 정확하게 인공수정체 도수 예측이 가능하였다. 그중에서도 Lenstar LS900®으로 측정하여 Olsen 공식을 이용하는 경우에 가장 높은 예측 굴절력의 정확성을 보여 백내장수술에 있어서 유용한 술 전 계측 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구를 토대로 향후 더 다양한 안구생체계측 장비와 인공수정체 도수 계산 공식을 통한 예측 굴절력의 정확성을 비교하는 연구가 지속적으로 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- Giers U, Epple C. Comparison of A-scan device accuracy. J Cataract Refract Surg 1990;16:235-42.
- Tehrani M, Krummenauer F, Blom E, Dick HB. Evaluation of the practicality of optical biometry and applanation ultrasound in 253 eyes. J Cataract Refract Surg 2003;29:741-6.
- Findl O, Drexler W, Menapace R, et al. Improved prediction of intraocular lens power using partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg 2001;27:861-7.
- Holzer MP, Mamusa M, Auffarth GU. Accuracy of a new partial coherence interferometry analyser for biometric measurements. Br J Ophthalmol 2009;93:807-10.
- Cruysberg LP, Doors M, Verbakel F, et al. Evaluation of the Lenstar LS 900 non-contact biometer. Br J Ophthalmol 2010;94:106-10.
- Hsieh YT, Wang IJ. Intraocular lens power measured by partial coherence interferometry. Optom Vis Sci 2012;89:1697-701.
- Cooke DL, Cooke TL. Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas. J Cataract Refract Surg 2016;42:1157-64.
- Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of Intraocular lens calculation formulas. Ophthalmology 2018;125:169-78.
- Bjeloš Rončević M, Bušić M, Cima I, et al. Comparison of optical low-coherence reflectometry and applanation ultrasound biometry on intraocular lens power calculation. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2011;249:67-75.
- Haigis W, Lege B, Miller N, Schneider B. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2000;238:765-73.
- Ademola-Popoola DS, Nzeh DA, Saka SE, et al. Comparison of ocular biometry measurements by applanation and immersion A-scan techniques. J Curr Ophthalmol 2015;27:110-4.
- Rohrer K, Frueh BE, Wälti R, et al. Comparison and evaluation of ocular biometry using a new noncontact optical low-coherence reflectometer. Ophthalmology 2009;116:2087-92.
- Lin HY, Chen HY, Fam HB, et al. Comparison of corneal power obtained from VERION image-guided surgery system and four other devices. Clin Ophthalmol 2017;11:1291-9.
- Kim JW, Lee H, Jung JW, et al. Comparison of ocular biometry using low-coherence reflectometry with other devices for intraocular lens power calculation. J Korean Ophthalmol Soc 2015;56:1558-65.
- Salouti R, Nowroozzadeh MH, Zamani M, et al. Comparison of the ultrasonographic method with 2 partial coherence interferometry methods for intraocular lens power calculation. Optometry 2011;82:140-7.
- Moon JS, Shin JA, Bae GH, Chung SK. Comparison of biometric measurements and refractive results between applanation ultrasonography and three different interferometries. J Korean Ophthalmol Soc 2015;56:1720-7.
- Shin JW, Seong M, Kang MH, et al. Comparison of ocular biometry and postoperative refraction in cataract patients between Lenstar(R) and IOL Master(R). J Korean Ophthalmol Soc 2012;53:833-8.
- Kongsap P. Comparison of a new optical biometer and a standard biometer in cataract patients. Eye Vis (Lond) 2016;3:27. eCollection 2016.
- Savini G, Hoffer KJ, Shammas HJ, et al. Accuracy of a new swept-source optical coherence tomography biometer for IOL power calculation and comparison to IOLMaster. J Refract Surg 2017;33:690-5.
- Lake D, Fong K, Wilson R. Early refractive stabilization after temporal phacoemulsification: What is the optimum time for spectacle prescription? J Cataract Refract Surg 2005;31:1845.
- Özcura F, Aktaş S, Sağdık HM, Tetikoğlu M. Comparison of the biometric formulas used for applanation A-scan ultrasound

biometry. Int Ophthalmol 2016;36:707-12.  
22) Kijima T, Kozawa T, Kora Y, et al. Accuracy of intraocular power calculation formulas. Nippon Ganka Gakkai Zasshi 1999;103:470-6.

23) Yalvaç IS, Nurözler A, Unlü N, et al. Calculation of intraocular lens power with the SRK II formula for axial high myopia. Eur J Ophthalmol 1996;6:375-8.

---

= 국문초록 =

## 접촉식 초음파와 저간섭성 반사계 간의 안축장 및 백내장수술 후 굴절력의 비교

**목적:** 접촉식 초음파(A-scan) (CineScan B-Scan, Quantel Medical, Bozeman, MT, USA)와 저간섭성 반사계(Lenstar LS900®, Haag-Streit, Bern, Switzerland)를 이용하여 얻은 안축장을 비교하고, 백내장수술 후 두 가지 장비와 인공수정체 도수 공식 간의 굴절력 예측의 정확성을 비교하고자 하였다.

**대상과 방법:** 백내장수술을 시행받은 250안(191명)을 대상으로 A-scan과 Lenstar LS900®을 이용하여 안축장을 측정하였다. SRK-2, SRK/T, Olsen 공식을 이용하여 인공수정체 도수를 결정하였으며, 예측 굴절력과 백내장수술 후 4-6주 뒤의 실제 굴절력 간의 오차, 그리고 그 오차가 0.25 D 이내와 0.5 D 이내일 확률을 각각 비교하였다.

**결과:** A-scan과 Lenstar LS900®으로 측정된 안축장의 평균은 각각  $23.42 \pm 0.94$  mm,  $23.55 \pm 0.95$  mm였으며, 이들은 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Paired *t*-test,  $p < 0.001$ ). 예측 굴절력과 실제 굴절력 간의 평균 오차를 비교했을 때는 SRK-2와 SRK/T 공식을 이용한 A-scan은 유의하게 원시 쪽으로 결과가 나왔으며, SRK-2, SRK/T와 Olsen 공식을 이용한 Lenstar LS900®은 유의하게 근시 쪽으로 결과가 나왔다(Paired *t*-test,  $p = 0.001$ ,  $p < 0.001$ ). 평균 절대오차, 그리고 오차가 0.25 D 이내와 0.5 D 이내일 확률을 비교했을 때는 Olsen 공식을 이용한 Lenstar LS900®이 유의하게 가장 높은 정확성을 보였다(McNemar test,  $p = 0.045$ ,  $p = 0.002$  and  $p = 0.010$ ,  $p = 0.002$ ).

**결론:** SRK-2와 SRK/T 공식을 이용한 A-scan은 수술 후 실제굴절력이 예측 굴절력보다 원시 쪽으로, SRK-2, SRK/T와 Olsen 공식을 이용한 Lenstar LS900®은 근시 쪽으로 결과가 나왔다. 백내장수술 후 굴절력 예측의 정확성은 Olsen 공식을 이용한 Lenstar LS900®이 가장 높았다.

〈대한안과학회지 2018;59(7):629-636〉

---