

핵백내장에서 파장가변 빛간섭단층촬영계를 이용한 굴절력 예측의 정확성

Accuracy of Predicting Refractive Outcomes Using Swept-source Optical Coherence Tomography in Nuclear Cataracts

안영주¹ · 김효진² · 주천기³

Youngju An, MPH, PhD¹, Hyojin Kim, MPH, PhD², Choun-Ki Joo, MD, PhD³

백석문화대학교 안경광학과¹, 백석대학교 보건학부², CK성모안과의원³

Department of Optometry, Baekseok Culture University¹, Cheonan, Korea

Division of Health Science, Baekseok University², Cheonan, Korea

CK St. Mary's Eye Center³, Seoul, Korea

Purpose: To evaluate the accuracy of predicting refractive outcomes of swept-source optical coherence tomography based biometry (ARGOS; Movu Inc., Santa Clara, CA, USA) in nuclear cataracts.

Methods: A total of 107 eyes (107 nuclear cataract patients) were analyzed. Subjects were divided into three groups according to the maximum nuclear density of Pentacam HR (A, lower tertile; B, medium tertile; C, upper tertile). The keratometry and axial length measured by IOLMaster (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany) and ARGOS systems were compared for each group. The correlation between maximum nuclear density and axial length difference readings from the two instruments was evaluated. The mean absolute error between the predicted refraction and 2-month post-operative refraction was compared.

Results: The maximum nuclear densities were 28.31 ± 7.30 , 51.37 ± 7.82 , and 88.63 ± 11.23 for groups A, B, and C, respectively. The axial length measured by ARGOS was significantly longer than that obtained using IOLMaster for groups B and C (respectively, $p = 0.035$, $p < 0.001$). A significantly positive correlation was found between the maximum nuclear density and axial length difference of the two devices ($p < 0.001$). Mean absolute errors were not significantly different between IOLMaster and ARGOS in group A. However, in groups B and C, the mean absolute error using ARGOS (0.31 ± 0.22 D and 0.32 ± 0.20 D, respectively) was significantly lower than that of IOLMaster (0.43 ± 0.21 D and 0.50 ± 0.26 D, respectively) (Group B, $p = 0.027$; Group C, $p = 0.001$).

Conclusions: Even in dense nuclear cataracts, accurate refractive outcome prediction was possible using swept-source optical coherence tomography based biometry.

J Korean Ophthalmol Soc 2019;60(11):1043-1049

Keywords: ARGOS, Cataract, Intraocular lenses, Swept-source optical coherence tomography

■ Received: 2018. 10. 11. ■ Revised: 2019. 2. 13.

■ Accepted: 2019. 10. 23.

■ Address reprint requests to **Choun-Ki Joo, MD, PhD**
CK St. Mary's Eye Center, #563 Gangnam-daero, Seocho-gu,
Seoul 06531, Korea
Tel: 82-2-516-3434
E-mail: ckjoo8663@gmail.com

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

현재 백내장수술은 보다 정확한 굴절 상태의 예측을 목표로 하고 있으며 이것은 정확한 인공수정체의 도수계산으로부터 시작된다.¹ 인공수정체의 도수를 계산하기 위해서 무엇보다도 술 전 안축장과 각막굴절력의 정확한 계측값이 필요하며, 이러한 안구생체계측치는 술 후 굴절력을 예측하는 데에 중요한 역할을 한다.^{1,2} 이에 새로운 기술이 도입된 여러 가지 방식의 생체계측 측정 장비들이 소개되고 있다.²

© 2019 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.

과거에는 주로 접촉식 초음파(A-scan)를 이용한 생체계측 측정 방법이 사용되어 왔다. 초음파는 각막에 탐침자를 접촉하여 측정해야 하기 때문에 비교적 정확하지만 각막 변형에 의한 오차, 검사자 간에 가해지는 압력의 차이, 측정 위치에 따라 측정값에 차이가 있을 수 있다. 따라서 비접촉식으로 전방을 측정하는 검사 장비들의 사용이 증가되었으며,^{3,4} 근래에는 1990년대에 들어 부분결합간섭(partial coherence interferometry) 원리를 이용한 측정 방법이 소개되었다. 이러한 원리를 적용한 IOLMaster (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany)는 780 nm 파장의 semiconductor diode laser로 안축장을 측정한다.⁵ 이것은 검사가 쉽고, 재현성이 높으며 비접촉식으로 감염의 위험이 없기 때문에 생체계측 장비로 임상에서 널리 쓰이게 되었다.¹ 하지만 중증도 이상의 핵백내장이나 후낭하 백내장에서는 780 nm의 파장으로 광선의 투과력이 떨어져 정확한 안축장의 측정이 어렵다는 단점이 있었다.²

최근 임상에 도입된 ARGOS (Movu Inc., Santa Clara, CA, USA), OA-2000 (Tomey, Nagoya, Japan), 그리고 IOLMaster 700 (Carl Zeiss Meditec) 등은 스융소스 기반의 광간섭단층영상 시스템으로 투과력에 대한 기대감과 함께 안과 분야에서 주목받고 있다. ARGOS는 중심부에 1,060 nm 파장의 레이저를 이용하여 기존의 광학식 안구측정시스템에 비해 30배까지 빠른 측정과 향상된 신호 대 잡음비로 뛰어난 침투력을 통해 높은 안축장 측정 성공률을 제공한다.⁶ ARGOS는 스융소스 기반의 광간섭단층영상에 생체계측장치 결합되어 있어 계측을 하는 동안 각막부터 망막까지 전체 안구를 실시간의 2차원의 이미지로 제공하며, 한 번의 측정으로 안축장, 각막굴절력, 중심각막두께와 같은 9개의 생체계측들을 측정해 낸다.⁶

이전 연구에서 기존의 생체계측 측정 방식과 새로운 방식의 장비를 비교하는 여러 연구들이 보고되었다. 임상에서 널리 쓰여 왔던 IOLMaster 500 (Carl Zeiss Meditec)과 IOLMaster 700과의 측정값을 비교한 국내의 연구에서는 IOLMaster 700의 경우 재현성과 정확성이 우수하다고 보고하였으며, 무엇보다 기존의 모델에 비해 측정 성공률이 높다고 하였다.² 또한 저간섭성반사계를 이용한 안구생체계측 측정치 또한 부분결합간섭계, 초음파와 높은 일치도를 보였다.⁷ 그러나 아직까지 국내에서 긴 파장의 측정방식으로 기존의 광선 투과력을 보완한 ARGOS를 이용하여 백내장의 혼탁도에 따라 그룹을 나누어 기존의 장비와 비교한 논문은 없었다. 이에 본 연구에서는 경도과 중증도 이상의 핵백내장에서 IOLMaster와 ARGOS로 측정한 안축장과 각막굴절력의 차이를 알아보고, 두 장비로 결정한 인공수정체 도수의 정확성을 비교하고자 하였다.

대상과 방법

본 연구는 2016년 8월부터 2016년 11월까지 백내장 진료를 위해 본원 안과 외래로 내원한 환자 중 핵백내장으로 진단받고, 단일 술자에게 수정체유화술과 동일한 인공수정체로 인공수정체삽입술을 시행받은 107안(107명)을 대상으로 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 수술 전 IOLMaster ver. 5.40, ARGOS, 그리고 Pentacam HR (OCULUS Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany) 검사를 모두 시행한 환자들을 대상자에 포함시켰으며 굴절 수술의 과거력, 각막혼탁, 망막부종이 있거나 수술 중 후낭 파열 등의 합병증이 발생한 경우와 수정체를 후낭에 넣지 않은 경우는 제외하였다. 본 연구는 서울성모병원 임상시험심사위원회의 승인을 받았다(승인 번호: KC16RISH1020).

핵백내장의 정도는 Lens Opacities Classification System (LOCS) III와 Pentacam HR의 최대 핵 밀도(maximum nuclear density)에 따라 평가하였다. 모든 환자는 눈을 산동한 상태(Tropicamide 0.5% - phenylephrine 0.5% [Mydrin-P; Santen, Osaka, Japan])에서 안과 전문의에 의한 세극등현미경검사상 LOCS III에 의거하여 0-6단계의 등급으로 분류되었다.⁸ 또한 숙련된 검사자에 의한 Pentacam HR 검사를 시행받았다. Pentacam HR은 전안부의 영상을 제공하는 데에 개별적인 이미지에서 내장된 프로그램을 통하여 0부터 100까지 렌즈의 밀도가 자동으로 정량화되며, 해당 영역의 평균 밀도, 최대 밀도 및 표준 편차를 제공해준다. 이전 연구에서 LOCS III에 의한 백내장의 정도는 Pentacam으로 측정한 nuclear lens density와 유의한 관련성이 있다고 보고된 바 있으며,⁹ 최대 핵 밀도는 수정체유화술 시행 시 누적소비에너지(cumulative dissipated energy)와 강한 상관성이 있는 것으로 알려져 있다.¹⁰ 따라서 본 연구에서는 최대 핵 밀도에 따라 총 삼분위수(tertile)로 그룹을 나누어(그룹 A, 하위 삼분위 그룹; 그룹 B, 중위 삼분위 그룹; C, 상위 삼분위 그룹) 생체계측치(각막굴절력과 안축장)와 인공수정체 도수계산의 정확성을 비교하였다.

수술 전 검사로 IOLMaster와 ARGOS를 이용하여 안구생체 계측을 시행하였으며, 각각의 기기에서 각막굴절력과 안축장을 측정하였다. IOLMaster를 먼저 측정하고 ARGOS를 나중에 측정하였으며, 두 장비 모두 턱과 이마를 받침대에 고정된 상태에서 매뉴얼에 따라 측정을 하였고 모든 생체계측치는 세 번 이상 측정하여 그 평균값을 이용하였다. 인공수정체의 도수 결정은 Sanders-Retzlaff-Kraff/Theoretical (SRK/T) 공식을 이용하였으며 A 상수는 IOLMaster의 경우 118.04를 ARGOS의 경우 118.02를 사용하였다. 목표 도수는 각 장비에 내장된 인공수정체 도수계산 프로그램을

이용하여 계산된 예측 굴절력이 비교적 정시에 가까운 근시값을 선택하였다.

백내장수술은 한 명의 술자(C.K.J.)에 의해 2.2 mm 이측 투명 각막절개를 이용한 수정체유화술 및 인공수정체낭내 삽입술을 시행하였다. 환자의 필요에 따라 난시교정용 인공수정체와 다초점인공수정체를 포함한 다양한 인공수정체가 삽입되었으며, 각 인공수정체의 모델에 따라 constant optimization이 개별적으로 수행되어야 한다.¹¹ 따라서, 가장 많은 환자에게 삽입된 인공수정체 모델(Precizon Monofocal 560, Ophtec USA, Inc., Sunrise, FL, USA)의 경우만 선택하여 분석에 이용하였다.

최종 굴절력은 백내장수술 후 2개월 후 자동굴절검사를 이용하여 측정하였으며, 예측오차(prediction error)는 최종 굴절력에서 예상 굴절력을 뺀 차이로 구하였다. 따라서 양의 예측오차는 최종 굴절력이 예상보다 원시임을 의미하고,

음의 예측오차는 최종 굴절력이 예상보다 근시임을 의미한다. 예측오차 비교 시 양의 오차와 음의 오차가 상쇄되는 문제가 발생하기 때문에 예측오차의 절대값의 평균을 구하였고 이를 평균절대오차(mean absolute error)로 정의하여 인공수정체 도수계산의 정확성을 비교하였다.

통계학적인 분석은 IBM SPSS 18.0 version (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 정규성 검정을 위해 Kolmogorov-Smirnov test를 시행하였고, 그룹 간 비교를 위하여 one-way analysis of variance와 Pearson chi-square test를 시행하였다. 평균의 차이를 비교하기 위해 자료가 정규분포를 따를 경우 paired *t*-test를 정규분포를 따르지 않을 경우 Wilcoxon signed rank test를 이용하였다. 또한, Pearson Correlation을 이용하여 최대 핵 밀도와 두 기기 간 안축장 차이의 상관성을 평가하였다. 유의수준은 *p*값이 0.05보다 작을 때 의미 있는 것으로 간주하였다.

Table 1. Patients characteristics

Characteristic	Group A (n = 36)	Group B (n = 36)	Group C (n = 35)	<i>p</i> -value
Age (years)	67.50 ± 9.82	65.92 ± 9.60	63.80 ± 9.90	0.282*
Sex				0.646†
Male	9 (25.0)	12 (33.3)	12 (34.3)	
Female	27 (75.0)	24 (66.7)	23 (65.7)	
Laterality				0.130†
Right eye	18 (50)	14 (38.9)	22 (62.9)	
Left eye	18 (50)	22 (61.1)	13 (37.1)	
LOCS III nuclear opalescence score	2.69 ± 0.48	3.63 ± 0.64	4.20 ± 0.77	<0.001* (a < b < c)
Pentacam maximum nuclear density	28.31 ± 7.30	51.37 ± 7.82	88.63 ± 11.23	<0.001* (a < b < c)

*Group A' means maximum lens density in the lower tertile. 'Group B' means maximum lens density in the medium tertile, and 'Group C' means maximum lens density in the upper tertile. Values are presented as mean ± standard deviation or number (%).

LOCS = Lens Opacities Classification System.

*One-way analysis of variance; †Pearson chi-square test.

Table 2. Comparison of biometric data by IOLMaster and ARGOS

Group	IOLMaster	ARGOS	<i>p</i> -value
A (n = 36)			
Keratometry (D)	44.24 ± 1.69 (40.30-47.17)	44.20 ± 1.58 (40.37-46.88)	0.453*
Axial length (mm)	23.88 ± 2.06 (20.85-30.21)	23.90 ± 2.05 (20.90-30.11)	0.117*
B (n = 36)			
Keratometry (D)	43.95 ± 1.50 (40.54-46.42)	43.94 ± 1.50 (40.66-46.75)	0.816†
Axial length (mm)	25.01 ± 2.47 (21.98-30.49)	24.98 ± 2.42 (22.05-30.50)	0.035*
C (n = 35)			
Keratometry (D)	44.26 ± 1.38 (41.06-47.74)	44.27 ± 1.35 (41.16-47.71)	0.797†
Axial length (mm)	24.66 ± 1.92 (21.74-31.03)	24.56 ± 1.86 (21.77-30.86)	0.001*

'Group A' means maximum lens density in the lower tertile, and 'Group B' means maximum lens density in the medium tertile. 'Group C' means maximum lens density in the upper tertile. Values are presented as mean ± standard deviation (range).

D = diopter.

*Wilcoxon signed rank test; †paired *t*-test.

결 과

Pentacam HR을 이용하여 측정된 최대 핵 밀도는 그룹

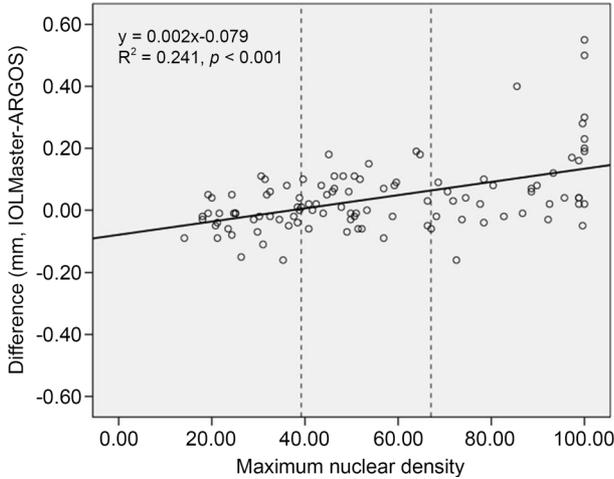


Figure 1. Relationship between maximum nuclear density and the axial length difference. The difference in axial length measurements of the two instruments is positively correlated with the maximum nuclear density.

A, 그룹 B, 그리고 그룹 C가 각각 28.31 ± 7.30 , 51.37 ± 7.82 , 88.63 ± 11.23 으로 나타났다(Table 1). 평균 연령은 그룹 A, 그룹 B, 그리고 그룹 C가 각각 67.50 ± 9.82 세, 65.92 ± 9.60 세, 63.80 ± 9.90 세로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, LOCS III 분류에 의한 백내장 정도는 그룹 A, 그룹 B, 그리고 그룹 C가 각각 2.69 ± 0.48 , 3.63 ± 0.64 , 4.20 ± 0.77 로 그룹 간 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$) (Table 1).

그룹 A의 경우 IOLMaster와 ARGOS에서 측정된 수술 전 각막 굴절력의 평균은 각각 $44.24 \pm 1.69D$ 와 $44.20 \pm 1.58D$ 로 통계적으로 유의한 차이가 없었고, 안축장의 평균은 23.88 ± 2.06 mm와 23.90 ± 2.05 mm로 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2). 그룹 B와 C의 경우 IOLMaster와 ARGOS로 측정된 각막 굴절력의 평균치는 각각 $43.95 \pm 1.50D$ 와 $43.94 \pm 1.50D$, $44.26 \pm 1.38D$ 와 $44.27 \pm 1.35D$ 로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 그러나 안축장 평균치는 각각 25.01 ± 2.47 mm와 24.98 ± 2.42 mm, 24.66 ± 1.92 mm와 24.56 ± 1.86 mm로 IOLMaster가 유의하게 길게 측정되었다(각각 $p=0.035$, $p < 0.001$). 또한 최대 핵 밀도와 두 기기 간 안축장 차이는 유의한 상관성을 보이는 것

Table 3. Comparison of IOL power with the SRK/T formulas between IOLMaster and ARGOS

Variable	Group A (n = 36)		Group B (n = 36)		Group C (n = 35)	
	IOLMaster	ARGOS	IOLMaster	ARGOS	IOLMaster	ARGOS
MAE \pm SD (D)	0.36 ± 0.22	0.30 ± 0.21	0.43 ± 0.21	0.31 ± 0.22	0.50 ± 0.26	0.32 ± 0.20
p-value*	0.064		0.027		0.001	
MedAE (D)	0.34	0.24	0.40	0.24	0.42	0.33
Eyes within PE (%)						
± 0.25 D	38.89	55.56	30.56	52.78	16.67	42.86
± 0.50 D	72.22	80.56	66.67	75.00	58.33	74.29

‘Group A’ means maximum lens density in the lower tertile, ‘Group B’ means maximum lens density in the medium tertile. ‘Group C’ means maximum lens density in the upper tertile.

IOL = intraocular lens; SRK/T = Sanders-Retzlaff-Kraff/Theoretical; MAE = mean absolute error; SD = standard deviation; D = diopters; MedAE = median absolute error; PE = prediction error.

*Wilcoxon signed rank test.

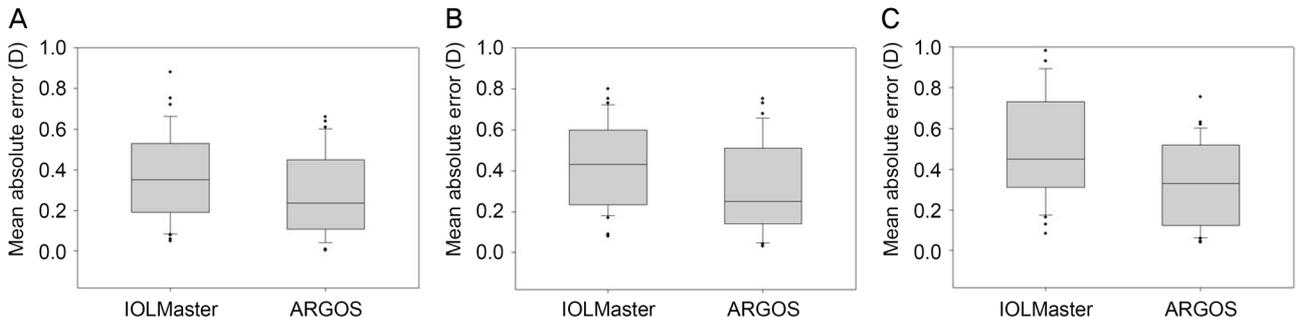


Figure 2. Comparisons of accuracy of predictive postoperative refraction by mean absolute error. Dots represent values outside the first and third quartiles. (A) Maximum lens density in the lower tertile, (B) maximum lens density in the medium tertile, (C) maximum lens density in the upper tertile. D = diopters.

로 나타났다($R^2=0.241$, $p<0.001$) (Fig. 1).

인공수정체삽입술 후 그룹 A에서 IOLMaster와 ARGOS를 이용하여 계산된 평균절대오차는 각각 $0.36 \pm 0.22D$ 와 $0.30 \pm 0.21D$ 로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.064$). 그러나 그룹 B에서 IOLMaster와 ARGOS를 이용하여 계산된 평균절대오차는 각각 $0.43 \pm 0.21D$ 와 $0.31 \pm 0.22D$ ($p=0.027$), 그룹 C에서 IOLMaster와 ARGOS를 이용하여 계산된 평균절대오차는 각각 $0.50 \pm 0.26D$ 와 $0.32 \pm 0.20D$ ($p<0.001$)로 ARGOS를 이용하여 계산된 평균절대오차가 유의하게 낮았다(Table 3, Fig. 2).

고 찰

최근 백내장수술은 환자의 요구되는 만족도가 높아짐에 따라 정확한 굴절 교정을 목표로 하고 있다. 현재 부분결합간섭 원리를 이용한 IOLMaster가 도입된 이래로 안축장의 측정 오류로 인한 백내장수술 후 굴절 이상은 36%까지 감소하였다.¹² 하지만 중증도 이상의 핵백내장이나 후낭하 백내장에서 광선의 투과력의 감소로 인하여 안축장의 측정이 불가능한 경우이나,¹³ 매체의 혼탁에 따른 파장의 투과성의 차이로 인한 측정 오차는 여전히 문제로 남아있다.¹⁴ 따라서 본 연구에서는 핵백내장의 혼탁 정도에 따라 삼분위의 그룹으로 나누어 파장가변 빛간섭단층영상 기반의 ARGOS를 이용하였을 때 굴절 예측치의 정확성을 평가하고자 하였다.

현재 안구의 정확한 생체계측을 위하여 다양한 원리와 방식의 장비들이 보급되어 왔다. 기존에 가장 많이 사용되고 있는 IOLMaster는 정확한 생체계측치를 제공하지만 백내장환자 중 약 10% (성숙백내장, 초자체 출혈이 있는 경우, 각막질환)에서는 측정이 불가능하기 때문에 초음파에 의존할 수밖에 없다고 하였다.¹⁵ 또한 수정체의 혼탁 정도가 심할 경우 IOLMaster를 이용한 안축장 측정은 오차를 유발할 수 있다고 알려져 있으며,¹⁴ 본 연구에서도 최대 핵 밀도가 높아질수록 두 기기로 측정된 안축장의 차이가 커지는 것을 알 수 있었다.

최근 백내장환자 377안을 대상으로 한 연구에서 부분결합 간섭계 원리를 이용한 IOLMaster ver. 5.4, 저간섭성 반사계 원리를 이용한 Aladdin (Topcon, Tokyo, Japan), 그리고 스웍소스 기반의 공간섭단층영상의 OA-2000의 측정 실패율은 각각 36.07%, 13.53%, 0%로 보고된 바 있으며, IOLMaster와 Aladdin (Topcon)의 경우 핵 경화도가 증가할수록 통계적으로 유의하게 안축장 실패율이 높아지므로 스웍소스 공간섭단층영상을 기반으로 한 안구생체계측기가 임상에서 유용하다고 하였다.¹⁵ 또한 Shammas et al⁶은 백

내장을 가지고 있는 107안을 대상으로 IOLMaster 500, Lenstar LS 900 (Haag Streit AG, Koeniz, Switzerland), 그리고 ARGOS의 생체 측정치를 비교한 결과 ARGOS로 측정한 안축장은 기기 간 재현성이 좋고 다른 기기와의 상관성이 높았으며, IOLMaster 500 (77%)나 Lenstar LS 900 (79%)보다 높은 측정률(96%)을 보였다고 하였다.

ARGOS는 1,060 nm의 파장과 20 nm 대역폭(bandwidth)의 스웍소스 기술을 이용하여 기존의 안구생체계측기에 비하여 30배 빠른 속도로 2차원의 공간섭단층영상과 9개의 안구계측치(안축장, 중심각막두께, 전방깊이, 렌즈 두께, 동공 크기, 각막 직경 등)의 측정이 가능하다.⁶ 또한 각각의 매질에 따라 다른 굴절률(각막, 1.375; 방수와 유리체, 1.336; 수정체, 1.410)을 적용하여 광학적 거리를 기하학적 거리로 변환한다. 각막곡률은 ring Light-Emitting Diode (LED)와 결합된 OCT 이미지를 통하여 측정하며, 굴절률 1.3375를 사용하여 산출되며, ARGOS의 반복성 및 재현성은 이전 연구에서 이미 입증된 바 있다.⁶ IOLMaster는 부분결합간섭계 원리를 이용하여 780 nm 파장의 적외선과 슬릿광원을 이용하여 전방깊이를 측정하며, 2.4 mm 영역의 6개의 지점에서 각막곡률값을 측정한다.¹⁶

본 연구에서 핵백내장의 정도가 낮았던 그룹 A의 경우 IOLMaster와 ARGOS로 측정한 안축장이 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만, 중증도 이상의 핵백내장으로 구성된 그룹 B와 C의 경우 ARGOS가 IOLMaster에 비해 안축장이 유의하게 짧게 측정되는 경향을 보였고, 술 후 평균절대오차는 유의하게 작았다. 이러한 차이가 발생하는 원인으로서는 첫째, IOLMaster와 ARGOS 모두 비접촉식으로 안축장을 측정할 때 부분결합간섭 원리를 이용하지만, IOLMaster는 780 nm 파장의 레이저를 사용하는 반면 ARGOS는 1,060 nm 파장의 레이저를 사용한다는 차이점이 있다. Unterhuber et al¹⁷은 1,040 nm에서 얻은 망막의 공간섭단층영상은 800 nm를 이용하였을 때에 비해 망막색소상피 아래의 맥락막으로 약 200 μm 더 깊이 침투한다고 하였으며, 더 긴 파장에서 망막 공간섭단층영상은 망막의 각 층에서 시각화를 개선할 뿐만 아니라 혼탁도로 인한 산란을 감소시키므로 유용한 진단 도구로 활용될 수 있다고 하였다. 둘째, 두 기기의 안축장 계산 방식이 상이하기 때문으로 생각할 수 있는데 IOLMaster는 안축장을 계산할 때 단일 굴절률(1.3375)을 사용하는 반면, ARGOS는 매질에 따라 다른 굴절률을 적용한다.⁶ 굴절률은 핵백내장의 진행, 노화, 수정체의 핵 밀도 등에 의해 변화할 수 있다고 알려져 있으며, 따라서 핵 밀도가 높은 경우 서로 다른 굴절률을 적용하는 두 기기의 안축장 측정치에 차이가 발생할 가능성이 있다.

백내장수술 후 굴절 상태는 수술 후 인공수정체 위치의 예측, 안축장 및 각막굴절력, 동공의 크기 등 여러 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.¹⁸ 그중에서도 Olsen and Thorwest¹⁹는 백내장수술 후 목표한 굴절력에 이르지 못하는 이유로 안축장의 측정오차가 54%를 차지한다고 보고하였으며, Olsen¹²은 0.1 mm의 안축장 측정치의 오차는 약 0.27D의 굴절 오차를 유발한다고 하였다. 본 연구에서 중등도 이상의 핵백내장에서 ARGOS를 이용하였을 경우 IOLMaster를 이용하였을 때에 비해 술 후 평균절대오차는 유의하게 작았다. Ueda et al¹⁴은 IOLMaster를 이용했을 때 수술 후 예측오차는 백내장의 밀도와 유의한 상관성을 보였기 때문에 IOLMaster를 이용하여 측정된 안축장은 백내장의 밀도에 영향을 받는다고 하였다. 높은 핵 밀도에서 안축장 측정의 오차는 술 후 평균절대오차에 영향을 미칠 수 있고 따라서 중등도 이상의 핵백내장에서도 평균절대오차가 더 작았던 ARGOS를 이용할 때 더 정확한 안축장 측정이 가능한 것으로 생각된다.

본 연구는 현재 파장가변 빛간섭단층촬영 기술을 기반으로 한 IOLMaster 700이 상용화되었음에도 부분결합간섭 원리를 이용한 IOLMaster와 ARGOS를 비교하였다는 점과 인공수정체 도수 계산에 하나의 공식(SRK/T)을 이용했다는 제한점이 있다. 그럼에도 불구하고 현재 부분결합간섭 원리를 이용한 IOLMaster는 널리 사용되고 있으며, ARGOS를 이용하여 백내장의 혼탁도에 따라 그룹을 나누어 기존의 장비와 비교한 첫 논문이라는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

현재 인공수정체 도수계산을 위한 생체계측치 측정에 IOLMaster가 가장 널리 사용되고 있지만, IOLMaster로 측정이 불가능한 경우 각막 변형에 의한 오차 및 검사자 간의 차이에도 불구하고 초음파에 의존할 수밖에 없었다. 이전 연구에서 ARGOS는 IOLMaster에 비해 높은 안축장 측정 성공률을 보였으며, 본 연구 결과 핵백내장의 밀도가 높은 경우에도 정확한 백내장수술 후 굴절력 예측이 가능하였다. 따라서 중등도 이상의 핵백내장에서도 측정률이 높으며 백내장수술 후 굴절 예측의 정확성이 높은 파장가변 빛간섭 단층영상 기반의 ARGOS는 임상에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

1) Lee JW, Park SH, Seong MC, et al. Comparison of ocular biometry and postoperative refraction in cataract patients between Galilei-G6(R)

and IOL Master(R). J Korean Ophthalmol Soc 2015;56:515-20.
 2) Yoo TK, Choi MJ, Lee HK, et al. Comparison of ocular biometry and refractive outcomes using IOL Master 700, IOL Master 500, and ultrasound. J Korean Ophthalmol Soc 2017;58:523-9.
 3) Gimbel HV, Sun R. Accuracy and predictability of intraocular lens power calculation after laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2001;27:571-6.
 4) Holzer MP, Mamusa M, Auffarth GU. Accuracy of a new partial coherence interferometry analyser for biometric measurements. Br J Ophthalmol 2009;93:807-10.
 5) Yu X, Chen H, Savini G, et al. Precision of a new ocular biometry in children and comparison with IOL Master. Sci Rep 2018;8:1304.
 6) Shammass HJ, Ortiz S, Shammass MC, et al. Biometry measurements using a new large-coherence-length swept-source optical coherence tomographer. J Cataract Refract Surg 2016;42:50-61.
 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.
 8) Mylonas G, Sacu S, Buehl W, et al. Performance of three biometry devices in patients with different grades of age-related cataract. Acta Ophthalmol 2011;89:e237-41.
 9) Lim DH, Kim TH, Chung ES, Chung TY. Measurement of lens density using Scheimpflug imaging system as a screening test in the field of health examination for age-related cataract. Br J Ophthalmol 2015;99:184-91.
 10) Gupta M, Ram J, Jain A, et al. Correlation of nuclear density using the Lens Opacity Classification System III versus Scheimpflug imaging with phacoemulsification parameters. J Cataract Refract Surg 2013;39:1818-23.
 11) Savini G, Hoffer KJ, Barboni P, et al. Accuracy of optical biometry combined with Placido disc corneal topography for intraocular lens power calculation. PLoS One 2017;12:e0172634.
 12) Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. Acta Ophthalmol Scand 2007;85:472-85.
 13) Ueda T, Ikeda H, Ota T, et al. Relationship between postoperative refractive outcomes and cataract density: multiple regression analysis. J Cataract Refract Surg 2010;36:806-9.
 14) Ueda T, Taketani F, Ota T, Hara Y. Impact of nuclear cataract density on postoperative refractive outcome: IOL Master versus ultrasound. Ophthalmologica 2007;221:384-7.
 15) McAlinden C, Wang Q, Gao R, et al. Axial length measurement failure rates with biometers using swept-source optical coherence tomography compared to partial-coherence interferometry and optical low-coherence interferometry. Am J Ophthalmol 2017;173:64-9.
 16) Drexler W, Findl O, Menapace R, et al. Partial coherence interferometry: a novel approach to biometry in cataract surgery. Am J Ophthalmol 1998;126:524-34.
 17) Unterhuber A, Povazay B, Hermann B, et al. In vivo retinal optical coherence tomography at 1040 nm - enhanced penetration into the choroid. Opt Express 2005;13:3252-8.
 18) Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 2008;34:368-76.
 19) Olsen T, Thorwest M. Calibration of axial length measurements with the Zeiss IOL Master. J Cataract Refract Surg 2005;31:1345-50.

= 국문초록 =

핵백내장에서 파장가변 빛간섭단층촬영계를 이용한 굴절력 예측의 정확성

목적: 핵백내장에서 파장가변 빛간섭단층촬영계(ARGOS)를 이용한 굴절력 예측의 정확성을 평가하고자 하였다.

대상과 방법: 핵백내장으로 진단받은 107안을 대상으로 Pentacam HR로 측정된 최대 핵 밀도(maximum nuclear density)에 따라 세 그룹(A, 하위; B, 중위; C, 상위)으로 나누어 IOLMaster와 ARGOS로 측정된 각막굴절력과 안축장을 비교하였다. 최대 핵 밀도와 두 기기 간의 안축장 차이의 상관성을 평가하였고, 수술 2개월 후 자동굴절검사를 이용하여 측정된 최종 굴절력에서 예상 굴절력을 뺀 차이의 절대값으로 오차를 계산하였다.

결과: 최대 핵 밀도는 그룹 A, B, C가 각각 28.31 ± 7.30 , 51.37 ± 7.82 , 88.63 ± 11.23 이었다. IOLMaster와 ARGOS에서 측정된 안축장은 그룹 B와 C에서 IOLMaster가 ARGOS에 비해 유의하게 길게 측정되었고(각각, $p=0.035$, $p<0.001$), 최대 핵 밀도와 두 기기 간 안축장 차이는 유의한 양의 상관성을 보였다($p<0.001$). 각각의 기기에서 측정된 생체계측치에 대한 평균절대오차는 그룹 A에서 유의한 차이를 보이지 않았으나($p=0.064$), 그룹 B와 C에서 ARGOS ($0.31 \pm 0.22D$, $0.32 \pm 0.20D$)를 이용하여 계산된 평균절대오차가 IOLMaster ($0.43 \pm 0.21D$, $0.50 \pm 0.26D$)에 비하여 유의하게 낮았다(각각, $p=0.027$, $p=0.001$).

결론: 파장가변 빛간섭단층촬영계를 이용하여 생체계측을 시행하였을 때, 중등도 이상의 핵백내장에서도 정확한 굴절력 예측이 가능하였다.

<대한안과학회지 2019;60(11):1043-1049>

안영주 / Youngju An

백석문화대학교 안경광학과
Department of Optometry,
Baekseok Culture University

