수술 전 안축장 구간에 따른 백내장수술 후 유효수정체위치 예측

Prediction of Effective Lens Position by Reference to the Preoperative Axial Length

김기현¹ · 황웅주¹ · 김현승²

Gee-Hyun Kim, MD¹, Woong-Joo Whang, MD¹, Hyun-Seung Kim, MD, PhD²

가톨릭대학교 의과대학 여의도성모병원 안과학교실¹, 가톨릭대학교 의과대학 서울성모병원 안과학교실²

Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea¹, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Seoul St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea², Seoul, Korea

Purpose: We derived optimal formulae permitting effective lens position (ELP) for patients differing in terms of their preoperative axial lengths as revealed by partial coherence interferometry.

Methods: We included 736 eyes from 736 patients who underwent conventional cataract surgery at Yeouido St. Mary's Hospital. The preoperative axial length (AL), corneal power (CP), and anterior chamber depth (ACD) measured via partial coherence interferometry served as independent variables for ELP prediction. The 736 eyes were divided into seven groups differing by 1.0-mm intervals in terms of the preoperative axial length. We sought correlations between the independent variables and the ELP, and defined the combinations that best predicted the ELPs of the seven groups.

Results: The CP correlated significantly with the ELP for eyes with AL between 22.0 and 25.0 mm (all $p < 0.01$) and the ACD correlated significantly with the ELP for eyes with AL between 23.0 and 26.0 mm (all $p < 0.01$). Although a regression equation featuring all of the AL, ACD, and CP best predicted the ELP for the total of 736 eyes ($p < 0.001$), the optimal combination varied by the preoperative AL.

Conclusions: The effects of CP, ACD, and AL on ELP vary by the preoperative AL. The optimal combination of preoperative variables predicting ELP thus varies as that parameter changes.

J Korean Ophthalmol Soc 2021;62(3):308-314

Keywords: Axial length, Anterior chamber depth, Corneal power, Cataract surgery, Effective lens position

백내장수술 시 안구 내에 삽입할 인공수정체의 도수를 정확하게 계산하는 것은 수술에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나이다.¹ 최근 백내장수술을 시행하는 술자들 사이에

서 수술 후 굴절력의 중요성에 대한 인식이 확대되고 있으며, 따라서 수술 전 이를 정확히 예측하고자 하는 요구 또한 높아지는 상황이다.¹⁻⁵

백내장수술 시 안구 내 삽입할 인공수정체도수는 통상적으로 세 가지 요소에 의해 수술 전에 결정된다. 첫 번째 요소는 수술할 안구의 생체계측치로서, 안축장, 전방깊이, 각막굴절력이 대표적이다. 나머지 두 요소는 인공수정체도수를 계산하는 공식과 삽입할 인공수정체의 고유 상수이다.⁶ 따라서 백내장 술자들은 정확한 수술 후 굴절력을 위하여 더욱 정밀한 인공수정체도수 공식을 개발해왔다. 특히 수술 후 전방깊이, 즉 유효수정체위치의 오차가 수술 후 굴절

■ Received: 2020. 6. 30.   ■ Revised: 2020. 8. 10.

■ Accepted: 2021. 2. 22.

■ Address reprint requests to **Woong-Joo Whang, MD**
Department of Ophthalmology, Yeouido St. Mary's Hospital,
College of Medicine, The Catholic University of Korea, #10
63-ro, Yeoungdeungpo-gu, Seoul 07345, Korea
Tel: 82-2-3779-1848, Fax: 82-2-761-6869
E-mail: olokl@nate.com

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

© 2021 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.

력 오차에 있어 가장 큰 비중을 차지하기에 정확한 유효수정체위치를 예측하는 것은 인공수정체도수 공식 유도에 있어 가장 중요한 목표가 되어왔다.⁷ 1세대 인공수정체도수 공식의 경우 유효수정체위치를 하나의 상수 값으로서 예측한 반면, 3세대 인공수정체도수 공식인 Hoffer Q, Holladay 1, SRK/T 공식은 각막곡률의 효과를 고려하여 유효수정체위치를 과거에 비해 더욱 정밀하게 예측하고자 하였다.⁴ 더 나아가 4세대 인공수정체도수 공식은 수술 전 측정된 전방깊이 또한 추가적으로 고려하여 더욱 정확한 유효수정체위치 예측을 시도하고 있다.⁵

수술 전 안축장 길이가 어느 정도인지에 따라 인공수정체도수를 상대적으로 더 적합하게 도출하는 공식이 존재함이 알려져 왔다. 안축장이 인공수정체도수 공식의 정확도에 미치는 효과는 수술 전 안축장이 현저하게 짧거나 긴 경우 대체로 인공수정체도수 공식의 정확도는 떨어지게 됨을 통해서도 대표적으로 알 수 있다. 수술 전 안축장이 22.0 mm 보다 짧은 경우 Hoffer Q 공식이 다른 공식들에 비해서 비교적 정확한 예측을 한다는 보고가 있다.^{1,8} Wang et al⁹은 안축장이 현저하게 긴 경우 Haigis 공식의 사용을 권장하기도 하였다. 하지만 수술 전 안축장이 비교적 정상적인 범위에 있는 경우는 인공수정체도수 공식들 간의 예측 정확도에 유의한 차이가 없었다는 보고도 있다.^{4,5,10-12} 더 나아가 인공수정체도수 예측은 수술 전 전방깊이에도 영향을 받는 것으로 알려져 있다.¹³ Bang et al¹⁴은 수술 전 안축장이 27.0 mm보다 긴 경우, 현존하는 인공수정체도수 공식들을 토대로 수술을 시행할 시 예상보다 원시의 굴절력을 얻게 됨을 밝혀냈으며, 원시화의 정도는 수술 전 안축장 값과 연관관계가 있음을 밝혀내기도 하였다.

본 연구는 수술 전 안축장 길이가 어느 정도인지에 따라 높은 정확도를 보이는 인공수정체도수 공식의 종류가 달라진다는 점에 착안하여 수술 전 안축장을 1.0 mm 구간별로 총 7개의 군으로 나누었다. 그리고 수술 전 시행한 부분결합간섭검사를 통해 얻은 안구 생체계측치와 수술 후 유효수정체위치 사이의 상관관계를 각 군별로 분석하여 유효수정체위치 예측 공식을 구해보았다.

대상과 방법

본 연구는 헬싱키선언에 부합하도록 진행하였으며, 의학연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받았다(IRB 승인 번호: SC20RASI0071). 모든 수술은 수정체 초음파유화장치(Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)로써 두 술자들에 의해 이뤄졌다. Pentacam® 각막지형도의 Simulated K값을 기준으로 각막곡률이 가파른

축에 따라 직난시인 경우 상측 각막에, 도난시인 경우 이측 각막에 2.2 mm 동축 소절개를 시행하도록 하였는데, 국소 점안마취(Alcaine®; Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA) 후 2.2 mm 미세절개(Intrepid ClearCut 2.2 mm dual-bevelmetal keratome, Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)를 3-plane의 투명각막절개창으로 시행하였다. 그 후 점탄 물질(Hyal2000®; LG Life Sciences, Seoul, Korea)을 전방에 주입한 후 앞낭 집계를 사용하여 5.5 mm 크기로 원형전낭절개술을 시행하고 평형염액(BSS Plus®; Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, TX, USA)을 사용하여 수력분리술과 수력분층술을 실시하였다. 초음파유화술 시에는 0.9 mm Kelman tip을 이용하였다(100% torsional ultrasound, 흡입력: 350 mmHg vacuum, 관류속도: 23 mL/min). 초음파유화술 후에는 한 종류의 인공수정체(ZCB00; Johnson & Johnson Vision, Santa Ana, CA, USA)를 수정체 후낭에 삽입하는 것으로 통일하였으며, 인공수정체 삽입 전후에 각막절개창의 폭은 확대되지 않았다. 수술 후 굴절력에 대한 최종 평가는 수술 후 3개월째 경과 관찰 시 수동 굴절검사 방법을 통해 이뤄졌으며, 이 값을 근거로 아래 공식을 통해 유효수정체위치를 역산하였다.

$$IOL\ power = \frac{1336}{AL-ELP} - \frac{1336}{Z} - ELP$$

$$Z = \frac{(nc-1)1000}{r} + \frac{1000}{\frac{1000}{PostRx} - VD}$$

위 공식에서 axial length (AL)은 수술 전 안축장, effective lens position (ELP)는 유효수정체위치, nc는 가상의 각막굴절률(1.3315), r은 수술 전 각막 반지름, PostRx는 수술 후 굴절력, 그리고 vertex distance (VD)는 정점 간 거리를 의미한다. 수술 전에 부분결합간섭검사를 시행하여 안축장, 각막굴절력, 전방깊이를 성공적으로 측정하였고, 통상적인 백내장수술이 합병증 없이 이뤄진 736명 환자의 736안이 본 연구에 포함되었으며, 수술 전 안축장 범주에 따라 아래와 같이 7개의 군으로 분류되었다.

AL < 22.0 mm (n=42); 22.0 mm < AL ≤ 23.0 mm (n=157); 23.0 mm < AL ≤ 24.0 mm (n=239); 24.0 mm < AL ≤ 25.0 mm (n=154); 25.0 mm < AL ≤ 26.0 mm (n=68); 26.0 mm < AL ≤ 27.0 mm (n=33); AL > 27.0 mm (n=43)

수술 전 안축장에 따라 분류한 7개의 각 군별 최적의 유효

효수정체위치 예측 방정식을 개발하고자 다중선형 회귀분석을 시행하였다. 통계적 분석들은 SPSS Version 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하였다. 최적의 효수정체위치 예측 방정식은 adjusted R^2 값을 최대로 하는 방정식으로 하였다. 통계적 유의성 여부는 p 값이 0.05 미만인 경우로 하였다.

Table 1. Demographic data of 736 eyes in this study

	Mean	Min	Max
Axial length (mm)	23.98 ± 1.59	21.22	31.85
Anterior chamber depth (mm)	3.16 ± 0.42	2.02	4.29
Corneal power (D)	44.18 ± 1.41	40.30	49.28
Age (years)	67.32 ± 10.54	44.00	93.00
Effective lens position (mm)	5.17 ± 0.53	3.85	7.75
IOL power (D)	20.27 ± 3.61	5.00	27.50
Postoperative spherical equivalent of refraction (D)	-0.80 ± 1.08	-4.13	1.25

Values are presented as mean ± standard deviation unless otherwise indicated.

D = diopters.

결 과

Table 1은 수술 전 안구 생체계측치에 대한 통계를 보여준다. 수술 전 안축장은 21.22-31.85 mm의 범위였으며, 평균은 23.98 mm였다. 수술 전 전방깊이는 2.02-4.29 mm의 범위로, 평균 3.16 mm였다. 수술 전 각막굴절력은 40.30-49.28 diopter (D)로, 평균 44.18 D였다. 효수정체위치는 3.85-7.75 mm로 평균 5.17 mm로 확인되었다. Table 2에서는 수술 전 안축장을 1.0 mm 구간으로 나누어 얻은 7개 군 각각에서의 수술 전 안구 생체계측치와 효수정체위치에 대한 통계를 보여주고 있다.

Table 3는 본 연구에 포함된 736안 전체에 대한 효수정체위치 예측 회귀 공식을 보여준다. 공식에 포함할 독립변수를 안축장, 전방깊이 및 각막굴절력에서 선정하는 경우의 수는 총 7가지 경우가 있으며, 수술 전 안축장, 전방깊이 및 각막굴절력 모두를 독립 변수로서 포함하고 있는 공식이 효수정체위치와 강력한 연관관계를 보임을 다중선형 회귀분석으로서 알 수 있었다(adjusted $R^2=0.458$, $p<0.001$).

Table 2. Demographic data in seven subgroups classified according to preoperative axial length

	Parameter	Number of eyes	Mean	Min	Max
AL ≤ 22.0 mm	AL	42	21.70 ± 0.20	21.22	21.99
	ACD	42	2.52 ± 0.28	2.05	3.32
	CP	42	46.40 ± 1.11	43.92	48.63
	ELP	42	4.67 ± 0.28	4.17	5.27
22.0 mm < AL ≤ 23.0 mm	AL	157	22.63 ± 0.26	22.02	23.00
	ACD	157	2.86 ± 0.35	2.16	3.68
	CP	157	44.98 ± 1.09	42.32	47.88
	ELP	157	4.91 ± 0.36	3.85	5.78
23.0 mm < AL ≤ 24.0 mm	AL	239	23.45 ± 0.27	23.01	24.00
	ACD	239	2.86 ± 0.35	2.02	4.11
	CP	239	44.10 ± 1.39	40.82	49.28
	ELP	239	5.04 ± 0.33	4.09	6.24
24.0 mm < AL ≤ 25.0 mm	AL	154	24.43 ± 0.30	24.01	25.00
	ACD	154	3.38 ± 0.32	2.65	4.13
	CP	154	43.36 ± 1.23	40.84	46.44
	ELP	154	5.25 ± 0.42	4.26	6.70
25.0 mm < AL ≤ 26.0 mm	AL	68	25.36 ± 0.25	25.01	25.99
	ACD	68	3.42 ± 0.32	2.56	4.05
	CP	68	43.62 ± 1.55	40.30	47.05
	ELP	68	5.45 ± 0.49	4.06	6.93
26.0 mm < AL ≤ 27.0 mm	AL	33	26.45 ± 0.26	26.03	26.98
	ACD	33	3.71 ± 0.32	3.17	4.29
	CP	33	43.52 ± 1.19	41.38	45.46
	ELP	33	5.78 ± 0.46	5.07	6.75
AL > 27.0 mm	AL	43	28.34 ± 1.19	27.08	31.85
	ACD	43	3.58 ± 0.27	3.01	4.17
	CP	43	43.74 ± 1.12	40.38	45.65
	ELP	43	6.08 ± 0.75	4.51	7.75

Values are presented as mean ± standard deviation unless otherwise indicated.

AL = axial length; ACD = anterior chamber depth; CP = corneal dioptric power; ELP = effective lens position.

Table 3. Regression formulas for prediction of ELP of 736 eyes

Preoperative variables for ELP	Regression formula for ELP	Adjusted R ² *	p-value*
AL	$-0.023 + 0.216 \times \text{AL}$	0.426	<0.001
ACD	$3.269 + 0.600 \times \text{ACD}$	0.232	<0.001
CP	$6.982 - 0.041 \times \text{CP}$	0.011	0.002
AL, ACD	$0.103 + 0.191 \times \text{AL} + 0.153 \times \text{ACD}$	0.434	<0.001
AL, CP	$-3.492 + 0.240 \times \text{AL} + 0.066 \times \text{CP}$	0.452	<0.001
ACD, CP	$3.689 + 0.594 \times \text{ACD} - 0.009 \times \text{CP}$	0.231	<0.001
AL, ACD, CP	$-3.225 + 0.218 \times \text{AL} + 0.130 \times \text{ACD} + 0.062 \times \text{CP}$	0.458	<0.001

ELP = effective lens position; AL = axial length; ACD = anterior chamber depth; CP = corneal dioptric power.

*Multiple linear regression tests.

Table 4는 수술 전 안축장을 1.0-mm 구간으로 나누어 얻은 7개 군 각각에서 유효수정체위치 예측 회귀 공식들을 보여준다. 여러 공식들 중 독립변수에 안축장, 전방깊이 및 각막굴절력 중 하나만 포함한 경우만을 살펴봄으로써 특정 구간에서 유효수정체위치와 개별 안구 생체계측치와의 관계를 알아볼 수 있었다. 안축장과 유효수정체위치 간의 연관관계는 수술 전 안축장이 24.0 mm보다 짧거나 26.0 mm보다 긴 범위에서 유의하였다. 각막굴절력과 유효수정체위치는 수술 전 안축장이 22.0-25.0 mm인 범위에서 유의한 상관관계를 보였다. 수술 전 안축장이 25.0-26.0 mm인 경우 각막굴절력과 유효수정체위치 간의 상관관계가 비교적 작아 상관관계가 있다고 보기는 어려웠다. 전방깊이의 경우는 수술 전 안축장이 23.0-26.0 mm의 범위에서 유효수정체위치와 유의한 상관관계를 보였다.

수술 전 안축장이 24.0 mm 미만인 경우, 안축장과 각막굴절력의 조합이 유효수정체위치를 가장 잘 예측하였다. 반면 수술 전 안축장이 24.0-25.0 mm인 경우 안축장, 전방깊이 및 각막굴절력의 조합이 유효수정체위치를 가장 잘 예측하는 것으로 밝혀졌다. 수술 전 안축장이 25.0-26.0 mm인 경우 전방깊이가 유효수정체위치 예측에 있어 가장 높은 정확도를 보였다. 수술 전 안축장이 26.0 mm 초과인 경우 안축장 그 자체가 유효수정체위치를 가장 잘 예측하였다.

고 찰

본 연구에 따르면 수술 전 측정한 안구 생체계측치와 유효수정체위치 간의 수학적 관계는 수술 전 안축장의 범주에 따라서 변할 수 있음을 알 수 있으며, 이는 곧 유효수정체위치를 가장 정확히 예측하는 안구 생체계측치의 조합 방식 또한 안축장의 범주에 따라 변함을 의미한다. 수술 전 안축장이 일반적인 범주보다 짧거나 긴 경우, 안축장이 유효수정 위치에 끼치는 영향이 특히 커지게 된다. 반면 수술

전 안축장이 일반적인 범주일 경우 전방깊이나 각막굴절력이 유효수정체위치에 끼치는 영향이 크게 나타났다.

수술 전 안축장이 어느 범주에 속하는지와 무관하게 안축장은 유효수정체위치와 대체로 양의 상관관계를 보였다. 수술 전 안축장이 24.0-26.0 mm의 범위에 있는 경우 안축장과 유효수정체위치 사이에 통계적으로 유의한 상관관계는 확인할 수 없었지만, 표본의 수가 늘어날 경우 상관관계를 통계적으로 유의하게 보일 것으로 기대된다. 수술 전 안축장이 22.0-25.0 mm에 해당되는 경우 각막굴절력이 유효수정체위치와 현저한 양의 상관관계를 통계적으로 유의하게 나타냈으나, 수술 전 안축장이 26.0 mm 이상인 경우는 통계적으로 유의하지 않은 음의 상관관계를 보였다. 특히 다중 회귀분석 결과에 따르면 수술 전 안축장이 25.0 mm 이하인 경우 각막굴절력이 유효수정체위치 예측에 결정적임을 알 수 있었다. 수술 전 안축장이 23.0-26.0 mm의 범위에 있는 경우 전방깊이 또한 유효수정체위치와 현저한 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 다중 회귀분석 결과 수술 전 안축장이 23.0 mm 이하이거나 26.0 mm 이상인 경우에는 전방깊이를 유효수정체위치 예측에 이용하기 어렵다는 결론을 얻을 수 있었다.

인공수정체도수 계산을 위한 이론적인 공식의 대부분은 각막 및 수정체의 두께가 무한히 얇다는 가정 하에 단순화된 안구 모형에 근거한다.² 이런 접근법 덕분에 인공수정체도수 계산은 가우스 렌즈 공식(Gaussian lens formula)으로써 비교적 쉽게 이뤄질 수 있었다.¹² 유효수정체위치는 수술 후 굴절력을 예측하기 위해 도입된 수술 후 유효전방깊이의 개념이다. 그러므로 유효수정체위치는 공식에 의존하는 개념적 변수이며, 실제 수술 후 인공수정체가 해부학적으로 지니는 위치와 동일하지 않을 수 있다.¹¹

수술 전 안구 생체계측치와 수술 후 인공수정체의 위치 간 관계에 대한 통계적 분석을 토대로 유효수정체위치를 다루려는 시도가 이뤄져 왔다. 1975년 Fyodorov et al¹⁵은 유효수정체위치 추정을 위하여 각막곡률 및 안축장을 토대

Table 4. Regression formulas for prediction of effective lens position according to preoperative axial length

	Preoperative variables for ELP	Regression formula for ELP	Adjusted R ² *	p-value*
AL ≤ 22.0 mm (n = 42)	AL	-8.422 + 0.601 × AL	0.165	0.004
	ACD	4.424 + 0.084 × ACD	-0.017	0.588
	CP	2.853 + 0.038 × CP	0.000	0.330
	AL, ACD	-8.498 + 0.606 × AL - 0.016 × ACD	0.144	0.018
	AL, CP	-13.920 + 0.703 × AL + 0.071 × CP	0.230	0.003
	ACD, CP	2.908 + 0.037 × ACD + 0.035 × CR	-0.025	0.611
	AL, ACD, CP	-16.137 + 0.785 × AL - 0.166 × ACD + 0.089 × CP	0.226	0.005
22.0 mm < AL ≤ 23.0 mm (n = 157)	AL	-0.570 + 0.242 × AL	0.024	0.029
	ACD	4.570 + 0.120 × ACD	0.007	0.149
	CP	1.587 + 0.074 × CP	0.044	0.005
	AL, ACD	-0.046 + 0.212 × AL + 0.055 × ACD	0.020	0.076
	AL, CP	-6.596 + 0.327 × AL + 0.091 × CP	0.091	<0.001
	ACD, CP	1.624 + 0.069 × ACD + 0.069 × CR	0.042	0.014
	AL, ACD, CP	-7.721 + 0.371 × AL - 0.067 × ACD + 0.099 × CP	0.088	0.001
23.0 mm < AL ≤ 24.0 mm (n = 239)	AL	-1.122 + 0.263 × AL	0.042	0.001
	ACD	4.399 + 0.207 × ACD	0.033	0.003
	CP	2.080 + 0.067 × CP	0.054	<0.001
	AL, ACD	-0.926 + 0.231 × AL + 0.175 × ACD	0.064	<0.001
	AL, CP	-7.738 + 0.374 × AL + 0.091 × CP	0.136	<0.001
	ACD, CP	2.207 + 0.131 × ACD + 0.055 × CR	0.063	<0.001
	AL, ACD, CP	-7.383 + 0.362 × AL - 0.038 × ACD + 0.086 × CP	0.134	<0.001
24.0 mm < AL ≤ 25.0 mm (n = 154)	AL	1.151 + 0.168 × AL	0.008	0.133
	ACD	4.094 + 0.341 × ACD	0.061	<0.001
	CP	-0.712 + 0.137 × CP	0.158	<0.001
	AL, ACD	1.442 + 0.111 × AL + 0.323 × ACD	0.061	0.003
	AL, CP	-8.063 + 0.280 × AL + 0.150 × CP	0.193	<0.001
	ACD, CP	-0.823 + 0.219 × ACD + 0.123 × CR	0.179	<0.001
	AL, ACD, CP	-7.133 + 0.240 × AL - 0.166 × ACD + 0.137 × CP	0.202	<0.001
25.0 mm < AL ≤ 26.0 mm (n = 68)	AL	4.073 + 0.054 × AL	-0.014	0.826
	ACD	4.094 + 0.341 × ACD	0.078	0.012
	CP	3.988 + 0.033 × CP	-0.004	<0.001
	AL, ACD	10.000 - 0.255 × AL + 0.559 × ACD	0.077	0.027
	AL, CP	2.883 + 0.044 × AL + 0.033 × CP	-0.019	0.685
	ACD, CP	2.613 + 0.466 × ACD + 0.028 × CR	0.073	0.032
	AL, ACD, CP	8.879 - 0.261 × AL + 0.553 × ACD + 0.030 × CP	0.073	0.050
26.0 mm < AL ≤ 27.0 mm (n = 33)	AL	-12.504 + 0.690 × AL	0.127	0.024
	ACD	5.961 - 0.050 × ACD	-0.031	0.848
	CP	7.975 - 0.051 × CP	-0.015	0.471
	AL, ACD	-12.347 - 0.690 × AL - 0.030 × ACD	0.099	0.027
	AL, CP	-10.694 + 0.673 × AL - 0.030 × CP	0.104	0.080
	ACD, CP	8.184 - 0.053 × ACD - 0.051 × CP	-0.047	0.751
	AL, ACD, CP	-10.514 - 0.671 × AL - 0.036 × ACD - 0.030 × CP	0.074	0.159
AL > 27.0 mm (n = 43)	AL	-1.539 + 0.269 × AL	0.159	0.005
	ACD	4.316 + 0.493 × ACD	0.007	0.262
	CP	9.947 - 0.088 × CP	-0.007	0.402
	AL, ACD	-1.755 + 0.259 × AL + 0.136 × ACD	0.140	0.019
	AL, CP	-0.986 + 0.260 × AL - 0.011 × CP	0.138	0.019
	ACD, CP	8.451 + 0.521 × ACD - 0.017 × CP	0.004	0.350
	AL, ACD, CP	-0.922 + 0.254 × AL + 0.147 × ACD - 0.017 × CP	0.118	0.048

ELP = effective lens position; AL = axial length; ACD = anterior chamber depth; CP = corneal dioptric power.

*Multiple linear regression tests.

로 한 공식을 유도한 바 있다. Hoffer Q,¹² Holladay 1,¹¹ SRK/T⁹와 같은 3세대 인공수정체도수 공식들은 유효수정체위치 예측 및 인공수정체도수 계산을 위하여 안축장 및 각막굴절력을 이용하고 있다. 세극등 촬영 기술의 발달로 전방깊이의 정밀한 측정이 가능해진 후에는 Haigis와 같이 전방깊이 및 안축장을 토대로 유효수정체위치를 계산하는 4세대 인공수정체도수 공식이 발전하였다.¹⁶ Sheard et al¹⁷은 SRK/T 공식이 생리학적으로 부합하지 않는 양상을 보임으로써 인공수정체도수 계산의 오차를 유발한다는 결론을 내었다. 특히 Reitblat et al¹⁸은 SRK/T 공식의 경우 각막굴절력이 46.0 D 이상인 경우 근시의 최종 굴절력을, 42.0 D 이하인 경우 원시의 최종 굴절력을 유발함을 밝혀낸 바 있다. 반대로 각막굴절력을 고려하지 않는 Haigis 공식의 경우 각막굴절력이 낮을수록 근시의 최종 굴절력을 유발한다고 알려져 있다. 이런 경향성은 Melles et al¹⁹이 시행한 대규모 연구에서도 입증된 바 있다. 하지만 한편으로 선행 연구에 따르면 평균 각막굴절력은 수술 후 인공수정체위치와 유의한 연관이 없다는 결론도 있다.^{20,21} 이런 상충되는 연구 결과는 각막굴절력이 또 다른 변수인 안축장과 음의 상관관계에 있기 때문인 것으로 추정된다.

수술 전 안축장이 22.0-25.0 mm인 경우, 전방깊이에 무관하게 Barret-Universal II 공식이 가장 정확한 예측도를 보이는 것으로 밝혀졌다. 반면 Holladay 1과 Hoffer Q 공식은 전방깊이가 얇은 경우 근시를, 깊은 경우 원시를 유발하는 인공수정체도수를 도출한다.²² Norrby et al²⁰은 수술 전 전방깊이 단독으로도 수술 후 인공수정체위치를 정확히 예측할 수 있다는 결론을 얻기도 하였으나, 해당 연구에서 다른 안구들의 안축장 분포가 정상 범위에 한정되어 있다는 한계점은 유념하여야 하겠다. 특히 수술 전 전방깊이만으로 유효수정체위치를 예측하는 공식이 현존하지 않는다는 점 또한 이 연구 결과의 한계점을 나타낸다.

본 연구에서 저자들은 수술 전 각막굴절력, 전방깊이가 유효수정체위치에 미치는 효과를 연구하고, 위에서 언급된 선행 연구들이 왜 상충되는 결론들을 도출하는지에 대해 확인하려고 시도하였다. 수술 전 안축장을 1.0-mm 구간으로 나누어 각 구간별 연구를 진행함으로써 교란변수로서 안축장의 역할은 효과적으로 제어될 수 있었다. 선행 연구들에서 수술 전 안축장을 구간별로 세분화하여 유효수정체위치를 예측한 바가 없다는 점은 본 연구에 의의를 두게 한다. 또한 인공수정체도수 결정에 끼치는 여러 요소들을 제어함으로써 여러 도수 계산 공식들의 정밀한 비교가 가능하였다. 인공수정체 종류에 따라 도수 공식의 정확도가 달라질 수 있기에,²³ 본 연구에서 다루는 736안은 모두 한 종류의 인공수정체만을 사용하여 백내장수술을 시행하였다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있음을 지적할 수 있다. 우선 본 연구에서는 수정체의 두께나 각막의 지름과 같은 요소들을 고려하지 않았다. 최근 들어 개발된 Holladay 2, Olsen,²⁴ Shammas²⁵ 등의 인공수정체도수 공식들은 수정체의 두께가 미치는 영향에 주목하고 있다. 또한 각막의 지름이 수술 후 인공수정체위치와 지대한 연관이 있음이 타 연구에서 드러나고 있다.²¹ 따라서 추후 유효수정체위치에 끼치는 이들 변수의 영향력을 추가적으로 분석해볼 필요가 있다.

결론적으로 수술 전 안축장에 따라 각막굴절력, 전방깊이가 유효수정체위치에 끼치는 영향력에는 변화가 있으며, 따라서 수술 전 안구 생체계측치를 토대로 유효수정체위치를 정확히 예측하는 공식의 형태 또한 수술 전 안축장에 따라 달라지게 된다. 인공수정체도수 공식의 설계를 위해 안구의 속성 중 특히 안축장에 대해 정밀하게 고려한다면 더욱 정확한 도수 계산이 가능할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Gavin EA, Hammond CJ. Intraocular lens power calculation in short eyes. *Eye (Lond)* 2008;22:935-8.
- Kershner RM. Clear corneal cataract surgery and the correction of myopia, hyperopia, and astigmatism. *Ophthalmology* 1997;104:381-9.
- Kohnen T, Koch MJ. Refractive aspects of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 1998;9:55-9.
- Narváez J, Zimmerman G, Stulting RD, Chang DH. Accuracy of intraocular lens power prediction using the Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, and SRK/T formulas. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:2050-3.
- Terzi E, Wang L, Kohnen T. Accuracy of modern intraocular lens power calculation formulas in refractive lens exchange for high myopia and high hyperopia. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1181-9.
- 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.
- Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:368-76.
- Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:63-71.
- Wang JK, Hu CY, Chang SW. Intraocular lens power calculation using the IOL Master and various formulas in eyes with long axial length. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:262-7.
- Cooke DL, Cooke TL. Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:1157-64.
- Kane JX, Van Heerden A, Atik A, Petsoglou C. Intraocular lens power formula accuracy: comparison of 7 formulas. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:1490-500.
- Gökce SE, Zeiter JH, Weikert MP, et al. Intraocular lens power calculations in short eyes using 7 formulas. *J Cataract Refract Surg*

- 2017;43:892-7.
- 13) Yang S, Whang WJ, Joo CK. Effect of anterior chamber depth on the choice of intraocular lens calculation formula. PLoS One 2017;12:e0189868.
- 14) Bang S, Edell E, Yu Q, et al. Accuracy of intraocular lens calculations using the IOLMaster in eyes with long axial length and a comparison of various formulas. Ophthalmology 2011;118:503-6.
- 15) Fyodorov SN, Galin MA, Linksz A. Calculation of the optical power of intraocular lenses. Invest Ophthalmol 1975;14:625-8.
- 16) 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.
- 17) Sheard RM, Smith GT, Cooke DL. Improving the prediction accuracy of the SRK/T formula: the T2 formula. J Cataract Refract Surg 2010;36:1829-34.
- 18) Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, et al. Intraocular lens power calculation for eyes with high and low average keratometry readings: comparison between various formulas. J Cataract Refract Surg 2017;43:1149-56.
- 19) Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. Ophthalmology 2018;125:169-78.
- 20) Norrby S, Bergman R, Hirschhall N, et al. Prediction of the true IOL position. Br J Ophthalmol 2017;101:1440-6.
- 21) Plat J, Hoa D, Mura F, et al. Clinical and biometric determinants of actual lens position after cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2017;43:195-200.
- 22) Gökce SE, Montes De Oca I, Cooke DL, et al. Accuracy of 8 intraocular lens calculation formulas in relation to anterior chamber depth in patients with normal axial lengths. J Cataract Refract Surg 2018;44:362-8.
- 23) Elder MJ. Predicting the refractive outcome after cataract surgery: the comparison of different IOLs and SRK-II v SRK-T. Br J Ophthalmol 2002;86:620-2.
- 24) Olsen T, Hoffmann P. C constant: new concept for ray tracing-assisted intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 2014;40:764-73.
- 25) Shammas HJ, Shammas MC. No-history method of intraocular lens power calculation for cataract surgery after myopic laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2007;33:31-6.

= 국문초록 =

수술 전 안축장 구간에 따른 백내장수술 후 유효수정체위치 예측

목적: 부분결합간섭검사로 측정되는 안구 생체계측치를 매개변수로 하는 백내장수술 후 유효수정체위치 예측 공식을 수술 전 안축장 구간별로 탐구해보고자 한다.

대상과 방법: 수술 전에 부분결합간섭검사를 시행하여 안축장, 각막굴절력, 전방깊이를 성공적으로 측정하였고, 통상적인 백내장수술이 합병증 없이 이뤄진 736안을 후향적으로 선정, 수술 전 안축장 1.0 mm 구간에 따라 7개의 군으로 분류하였다. 다중선형 회귀분석을 통해 수술 전 안축장, 각막굴절력, 전방깊이를 독립 매개변수로 하여 유효수정체위치를 예측하는 최적의 공식을 각 군에 따라 구해 보았다.

결과: 수술 전 안축장이 22.0 mm에서 25.0 mm에 속하는 경우, 각막굴절력이 유효수정체위치와 유의하게 연관되어 있었다. 수술 전 안축장이 23.0 mm에서 26.0 mm에 속하는 경우, 전방깊이가 유효수정체위치와 유의하게 연관되어 있었다. 수술 전 안축장이 24.0 mm 보다 짧고, 26.0 mm보다 긴 경우, 수술 전 안축장이 유효수정체위치와 강하게 연관되어 있었다. 수술 전 안축장, 전방깊이, 각막굴절력 세 변수 모두를 고려한 선형 회귀 공식을 통해 대체로 유효수정체위치를 가장 적절하게 예측할 수 있었으나, 각 군에 따라 공식의 형태는 변하였다.

결론: 백내장 수술 후 유효수정체의 위치는 수술 전 안축장의 길이가 25.0 mm 미만인 경우는 안축장과 각막굴절력, 24.0 mm에서 26.0 mm 인 경우는 안축장과 전방깊이, 그리고 26.0 mm 이상인 경우는 특히 안축장과 유의한 연관성이 있었다.

〈대한안과학회지 2021;62(3):308-314〉

김기현 / Gee-Hyun Kim

가톨릭대학교 의과대학 여의도성모병원 안과학교실
Department of Ophthalmology,
Yeouido St. Mary's Hospital, College of
Medicine, The Catholic University of Korea