

# 순차적 백내장수술에서 첫 번째 수술안 예측오차가 두 번째 수술안의 광학적 보정에 미치는 효과

## Effect of First Eye Prediction Error on Refractive Adjustment of Second Eye in Delayed Sequential Bilateral Cataract Surgery

박민섭<sup>1</sup> · 김미금<sup>1,2</sup>

Min Seob Park, MD<sup>1</sup>, Mee Kum Kim, MD, PhD<sup>1,2</sup>

서울대학교 의과대학 안과학교실<sup>1</sup>, 서울대학교병원 의생명연구원 인공안구센터 안면역각막재생연구실<sup>2</sup>

Department of Ophthalmology, Seoul National University College of Medicine<sup>1</sup>, Seoul, Korea

Laboratory of Ocular Regenerative Medicine and Immunology, Seoul Artificial Eye Center, Seoul National University Hospital Biomedical Research Institute<sup>2</sup>, Seoul, Korea

**Purpose:** We investigated the refractive outcomes of second-operated eyes whose diopters of intraocular lens (IOL) were selected based on the prediction error (PE) of the first-operated eye in 1-week-delayed sequential bilateral cataract surgery.

**Methods:** Medical records of 100 patients who had undergone delayed sequential bilateral cataract surgery with a 1-week interval were reviewed retrospectively. The postoperative subjective refraction was evaluated at 1 week and 1 month after surgery. The refractive error (RE) was determined by comparing postoperative refraction with the intended postoperative refractive target. The PE was determined by comparing postoperative refraction with the predicted postoperative refraction calculated by multiple different formulae (SRK-T, Hoffer Q, and Haigis). When the PE of the first eye was outside the range of  $\pm 0.25$  diopters (D) at postoperative 1 week, selection of IOL power was adjusted to reduce the PE of the second eye. Mean numerical and mean absolute errors of RE were calculated. The correlations between PE of the first eye measured at 1 week and PE of the second eye measured at 1 month were analyzed.

**Results:** The mean absolute value of RE was decreased on the second operated eye, but was not significant ( $p > 0.05$ ). The subgroup whose RE of the first eye was  $> \pm 0.5$  D at 1 week showed a significantly decreased mean absolute value of RE in the second eye ( $p < 0.05$ ). The PE of the first eye measured at 1 week and of the second eye at 1 month showed significant correlation ( $r = 0.483$  [SRK-T],  $0.593$  [Hoffer Q],  $0.547$  [Haigis];  $p < 0.001$ ).

**Conclusions:** Delayed sequential bilateral cataract surgery with a 1-week interval may enable refinement of the refractive outcome of the second operated eye when the first operated eye shows a RE  $> 0.5$  D.

J Korean Ophthalmol Soc 2021;62(2):207-215

**Keywords:** Delayed sequential bilateral cataract surgery, Effective lens position, Predicted postoperative refraction, Prediction error, Refractive error

■ Received: 2020. 9. 9.

■ Revised: 2020. 11. 3.

■ Accepted: 2021. 1. 29.

■ Address reprint requests to **Mee Kum Kim, MD, PhD**  
Department of Ophthalmology, Seoul National University Hospital, #103 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea  
Tel: 82-2-2072-2665, Fax: 82-2-741-3187  
E-mail: kmk9@snu.ac.kr

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

대부분의 굴절교정술이 양안 동시에 시행되는 것과는 대조적으로, 한 환자에서 양안 백내장수술은 전통적으로 두 눈 사이에 약간의 시간 간격을 두고 시행되어왔다(Delayed sequential bilateral cataract surgery, DSBCS). 그러나 백내장수술기법이 점차 발달하고 수술 시간이 줄어들어 따라 양안 백내장수술을 하루에 시행하는 경우(immediately se-

quential bilateral cataract surgery, ISBCS)가 점차 증가하고 있다. ISBCS는 환자의 병원 방문 횟수 및 전체 관찰 기간을 줄일 수 있어 의료비용 측면에서 환자 자신과 병원, 그리고 국가 보험재정 모두에 큰 이점을 가지고 있으며, DSBCS와는 달리 두 번째 눈을 수술하기 전까지 부등시 상태로 생활하는 기간이 없다는 장점도 있다. 이러한 장점을 근거로 일부 국가에서는 ISBCS가 표준 술식으로 시행되기도 한다.

그럼에도 불구하고 대한민국을 포함한 세계 대부분의 국가에서 ISBCS에 비하여 DSBCS가 조금 더 선호되는 표준적인 수술법으로 자리잡은 이유는, ISBCS의 경우에 술 후 안내염이 양안에 동시에 발생할 위험성을 우려하기 때문이다. 단안 백내장수술 후 안내염은 국내에서는 0.05%, 국외에서는 0.02-0.5% 정도로 보고된 바 있으며, 예방적 전방내항생제 주입술의 도입과 함께 빈도는 더욱 감소하고 있다.<sup>1,2</sup> 많은 술자들의 우려와는 달리 ISBCS에서 술 후 양안 안내염의 위험성은 명확히 증명된 바가 없다. 국내에서 시행된 연구에서, 462명 924안에 시행된 ISBCS에서 안내염은 한 건도 발생하지 않았으며, 국외에서 진행된 여러 연구에서 ISBCS의 단안 안내염 발생률은 단안 백내장수술과 차이가 없었고, 양안 안내염은 한 건도 발생하지 않았다.<sup>1,2</sup>

오히려 DCBCS의 이점은 수술 후 광학적 임상결과라는 측면에서 두드러진다. 안구생체계측기(ocular biometry)가 정교해지면서 안축장(axial length, AXL)의 길이나 각막곡률 측정치의 오차는 점차 줄어들었으나 여전히 수술 후 유효수정체위치(effective lens position, ELP)를 정확하게 계산해내지는 못하고 있으며 이는 인공수정체 도수 계산에서 발생하는 오차의 주된 원인이다.<sup>3,4</sup> 다양한 계산 공식들이 등장함에 따라 세련된 결과를 얻고 있음에도 불구하고, 10% 이상의 환자들은 첫 번째 수술에서 계산된 술 후 굴절력과 실제 굴절력 사이에 0.5 diopters (D) 이상의 오차가 발생하고 있다.<sup>5</sup> 이 경우 DSBCS는 그러한 오차를 두 번째 수술의 인공수정체 도수 결정에 반영할 수 있다는 장점이 있다. 이에 더하여, 만약 이러한 굴절오차(refractive error, RE) 보정 작업이 실제로 반대안의 광학적 임상결과를 향상시킬 수 있다면, 두 수술 사이의 기간을 어느 정도까지 줄여도 이러한 광학적 보정이 유효할지에 대한 의문이 생긴다. 즉, 첫 번째 수술 후 일주일 경과한 상태의 수술 후 굴절력을 두 번째 수술에서 참고로 삼아도 될 것인가? 영국왕립안과학회에서는 백내장수술 후 굴절학적 안정이 되는 4-6주 이후에 안경처방을 시행하도록 권고하고 있다.<sup>6</sup> 그러나 최근의 메타분석에서는 합병증이 없는 일반 백내장수술 1주 혹은 2주 이후부터 굴절학적 안정성을 기대할 수 있을 것으로 예측하기도 하였다.<sup>7</sup> 현재 국내에서 수많은 양안 백

내장수술이 일주일 간격으로 진행되고 있음을 고려한다면 이러한 질문에 해답을 찾는 것은 매우 중요할 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 일주일 간격으로 지연된 순차적 양안 백내장수술에서 첫 번째 수술안의 예측오차(prediction error, PE)를 고려하여, 두 번째 수술안의 인공수정체 굴절력을 선택함으로써 두 번째 수술안의 광학적 굴절 결과를 실제로 향상시킬 수 있는지 확인하고자 하였다.

## 대상과 방법

본 연구는 후향적 의무기록 분석으로, 본원 임상시험 윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심의 및 승인을 받았으며(승인 번호: 1811-066-984), 의학연구윤리강령인 헬싱키선언을 준수하였다. 연구 대상 환자들은 본원 안과에 내원한 환자 중 양안 백내장으로 진단되어 2010년 1월 1일부터 2018년 10월 30일 사이에 일주일 간격으로 양안 수정체초음파유화술 및 인공수정체후방삽입술 시행을 받은 환자 중 같은 종류의 인공수정체를 양안 수정체낭에 삽입한 환자 중 무작위로 선택된 100명의 환자를 대상으로 하였으며, 다초점인공수정체나 난시교정인공수정체 등 여타 특수렌즈를 삽입한 환자들은 제외되었다. 수술 과정에서 특이 합병증이 없고, 백내장 외 굴절력에 영향을 주는 안질환이 없으며 이전 안구 수술력이나 외상력이 없는 환자들만을 대상으로 하였으며 수술 전 각막난시의 크기가 4 D 이상인 경우는 제외하였다.

RE는 술 후 굴절력과 의도된 목표 굴절력(대표적으로, 정시는 0)과의 차이를 뜻하고, PE는 술 후 굴절력과 인공수정체 공식별로 계산된 예측 굴절력(predicted postoperative refraction, PPOR)과의 차이를 의미한다. IOL master 500 (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany) 또는 IOL master 700 (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)의 SRK-T, Hoffer-Q, Haigis 공식을 이용하여 인공수정체도수값을 결정하였다. IOL master 500 (n=73) 또는 IOL master 700 (n=37)에서 술 전 AXL, 평균 각막굴절력(average keratometry, K), 난시의 크기(absolute astigmatism) 및 전방깊이(anterior chamber depth, ACD)의 정보를 얻었으며, 수정체두께(lens thickness, LT)와 수평각막직경(White-to-White, WTW)값은 IOL master 700으로 측정된 37명의 환자에서만 정보 산출이 가능하였다.

모든 환자들은 백내장수술 1주 후 및 4주 후 Autokeratometry (KR-7100)를 이용하여 수술안의 굴절력을 측정하였으며, 첫 번째 수술 후 일주일째에 Autokeratometry (KR-7100)를 이용하여 측정된 수술안의 PE의 크기가 0.3 D 초과인 경우 이에 맞추어 두 번째 수술의 인공수정체 도수를 한 단계 조

정하였다. 즉, 첫 번째 수술안이 근시 편향의 경우 두 번째 수술안의 인공수정체 굴절력을 한 단계 낮게, 첫 번째 수술안이 원시 편향의 경우 두 번째 수술안의 인공수정체 굴절력을 한 단계 높게 조정하였다.

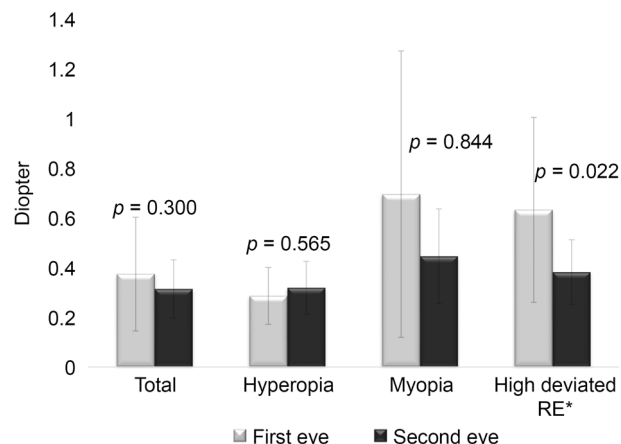
통계 분석은 SPSS 25.0 (IBM Inc., Armonk, NY, USA) 통계프로그램을 이용하였다. 수술 한 달 후 측정된 RE의 평균과 절대값의 평균(mean absolute error [MAE], mean numerical error [MNE])을 양안에서 비교하였다. 추가적인 하위 그룹 분석에서 근시(안축장 길이가 26.5 mm 초과인 그룹, 12명), 원시(AXL 길이가 23 mm 미만인 그룹, 30명), 첫 번째 수술 후 일주일째 측정된 RE가 0.5 이상인 그룹(29명)에 대하여 각각 동일한 분석을 수행하였다. 한편, 첫 번째 수술안의 술 후 일주일째 PE와 반대안의 술 후 1달째 PE가 서로 상관관계를 가지는지를 인공수정체 공식별로 확인하였다. 상관관계가 확인될 경우 회귀분석을 추가적으로 수행하였다. 분석 기법의 경우 Wilcoxon's signed ranks test와 Pearson 상관분석, 경우에 따라 Spearman과 Kendall의 비모수 순위상관분석을 수행하였으며, 단순회귀분석을 통해 회귀식을 산출하였다.  $p$ 값은 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의한 수준으로 정의하였다.

## 결 과

총 100명의 환자들의 평균 나이는 66.8세(31-86세)였으며, 남성이 26명, 여성이 74명이었다. 첫 번째 수술안과 두 번째 수술안의 술 전 AXL, K, 난시 크기, ACD, LT, WTW 정보를 Table 1에 제시하였다. 평균 각막굴절력( $p=0.008$ , Wilcoxon's signed ranks test)을 제외한 모든 계측 항목에서 평균의 유의한 차이가 관찰되지 않았으며, K의 경우 첫 번째 수술안은  $44.33 \pm 1.59$  D, 두 번째 수술안은  $44.18 \pm 1.56$  D로 양 눈 평균의 차이는 0.15 D였다. 상관분석에서 첫 번째와 두 번째 수술안은 난시의 크기( $p=0.160$ , Pearson's  $r$ )를 제외한 모든 계측 항목에서 유의한 상관관계를 보여주었다( $p<0.001$ , Pearson's  $r$ ).

첫 번째 수술안에서 술 후 한 달째 측정된 RE의 평균(mean numerical error, MNE)은  $-0.051 \pm 0.592$  D, 절대값의 평균(mean absolute error, MAE)은  $+0.376 \pm 0.459$  D이며 두 번째 수술안에서 술 후 한 달째 측정된 MNE는  $-0.007 \pm 0.395$  D, MAE는  $+0.316 \pm 0.235$  D였다. MAE는 두 번째 수술안에서 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.300$ , Wilcoxon's signed ranks test, Fig. 1). 추가적인 하위그룹분석을 수행하였을 때, 근시 및 원시 환자군에서는 MAE가 양안 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 첫 번째 수술안에서 술 후 일주일째 측정된 RE가 0.5 D 이상이었던 환자군만 선별하였을 경우 MAE가 두 번째 수술안에서 유의하게 감소하였다( $p=0.022$ , Wilcoxon's signed ranks test, Fig. 1).

인공수정체 공식(SRK-T, Hoffer, Haigis)별로 계산된 첫 번째 수술안의 술 후 일주일째 PE의 평균(MNE, MAE)과



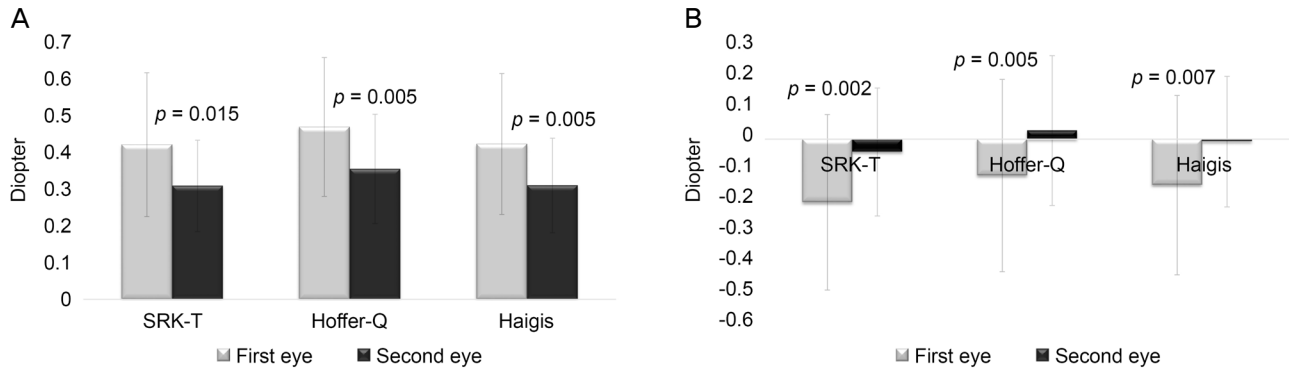
**Figure 1.** Mean absolute error of refractive error (RE) between sequential bilateral cataract surgery in a week interval by each subgroup (hyperopia subgroup [axial length < 23.0 mm]: 30 patients, myopia subgroup [axial length > 26.5 mm]: 12 patients, high deviated RE subgroup: 29 patients), measured at post-operative day 1 month, respectively ( $\pm$  standard error).  $p$ -values were obtained by the Wilcoxon's signed ranks test. \*RE in 1st eye > 0.5 diopters.

**Table 1.** Baseline characteristics of the 1st and 2nd operated eyes in enrolled patients

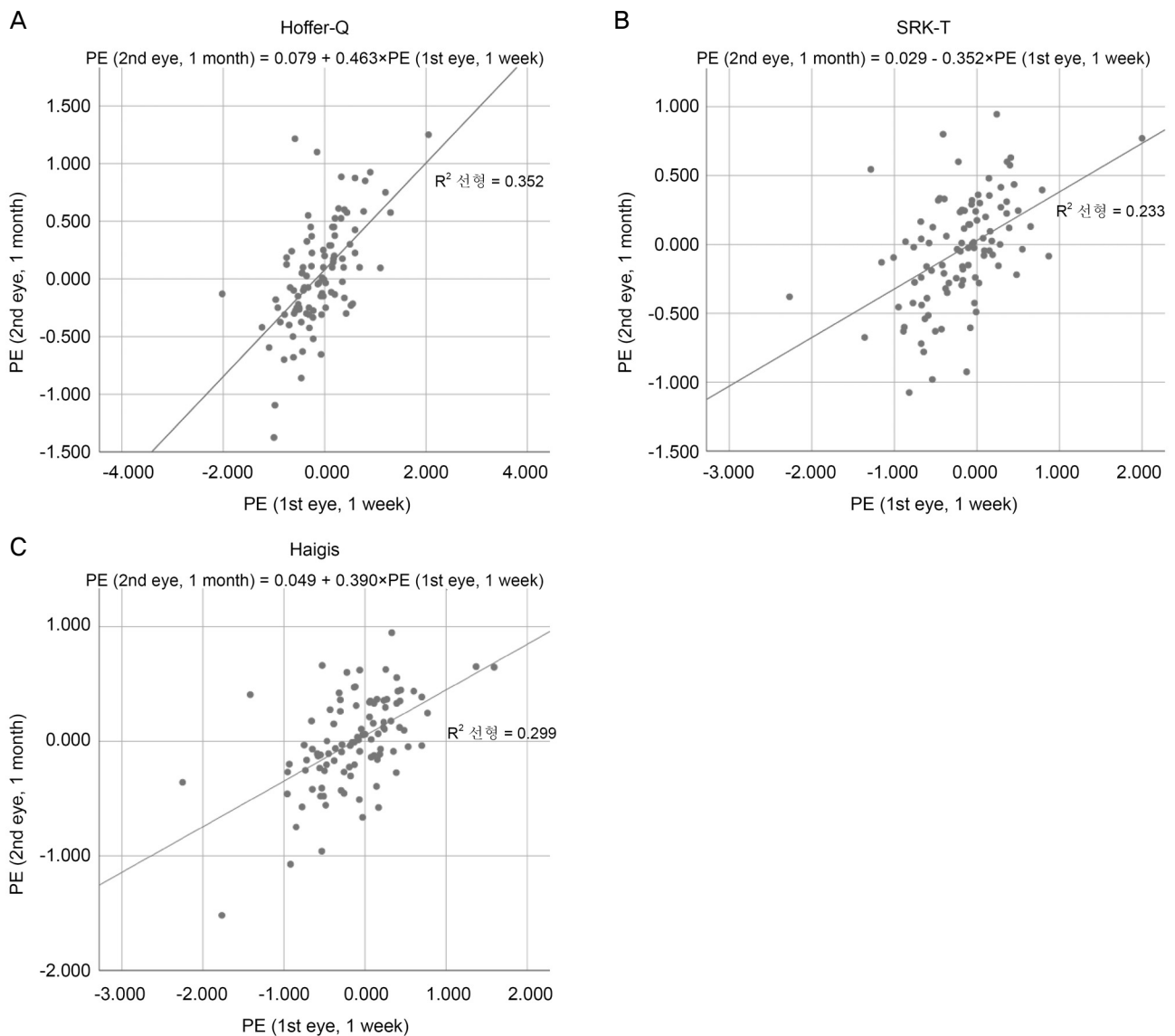
	1st operated eye	2nd operated eye	$p$ -value	Correlation coefficient
Axial length (mm)	24.06 $\pm$ 2.30	24.07 $\pm$ 2.30	0.170	0.993*
Average keratometry (diopters)	44.33 $\pm$ 1.59	44.18 $\pm$ 1.56	0.008	0.951
Absolute astigmatism (diopters)	0.63 $\pm$ 0.55	0.66 $\pm$ 0.44	0.900	(-) <sup>†</sup>
Anterior chamber depth (mm)	3.09 $\pm$ 0.49	3.07 $\pm$ 0.48	0.280	0.947
Lens thickness (mm) <sup>‡</sup>	4.55 $\pm$ 0.54	4.60 $\pm$ 0.48	0.411	0.923
White-to-White (mm) <sup>‡</sup>	11.58 $\pm$ 0.38	11.59 $\pm$ 0.39	0.534	0.754

Values are presented as mean  $\pm$  standard deviation.

\*Spearman's Rank-Order Correlation; <sup>†</sup>not statistically significant; <sup>‡</sup>measured at 37 patients only.



**Figure 2.** Mean value of prediction error (PE, first eye: measured at post-operative day 1 week/second eye: measured at post-operative day 1 month) by each IOL formula between sequential bilateral cataract surgery in a week interval ( $\pm$  standard error). ([A] Mean absolute error and [B] mean numerical error).  $p$ -values were obtained by the Wilcoxon's signed ranks test.



**Figure 3.** Correlation & simple regression analysis of prediction error (PE) by each IOL formula, between sequential bilateral cataract surgery in a week interval ([A]  $R = 0.483$ , SRK-T; [B]  $0.593$ , Hoffer-Q; [C]  $0.547$ , Haigis; all  $p < 0.001$ ).  $p$ -values were obtained by the Pearson's correlation analysis.

두 번째 수술안의 술 후 한 달째 PE의 평균(MNE, MAE)을 계산하였고 MAE의 유의한 차이가 있는지를 확인하였다(Fig. 2). PE의 절대값의 평균(MAE)은 모든 경우에서 두 번째 수술안에서 유의하게 감소하였다.

백내장수술 후 측정된 PE가 양안에서 인공수정체 공식별로 상관 관계를 가지는지 분석하였다. Pearson 상관분석에서 SRK-T, Hoffer, Haigis 공식 모두에서 첫 번째 수술안의 술 후 일주일째 PE와 두 번째 수술안의 술 후 1달째 PE가 서로 유의한 양의 상관관계를 가지고 있음을 확인할 수 있었다( $R=0.483$  [SRK-T],  $0.593$  [Hoffer-Q],  $0.547$  [Haigis], 모두  $p<0.001$ , Pearson's r).

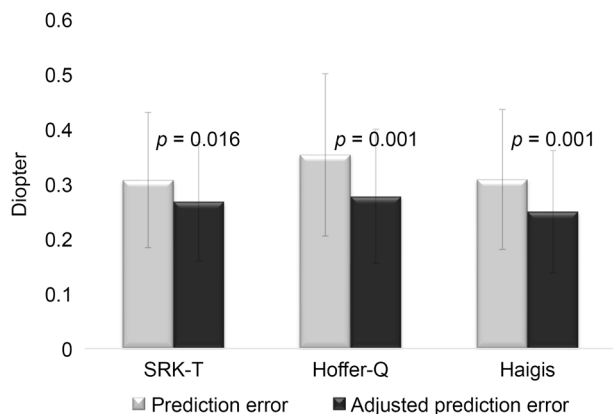
이러한 상관관계를 바탕으로 인공수정체 공식(SRK-T, Hoffer, Haigis)별로 계산된 첫 번째 수술안의 술 후 일주일째 PE를 통해 두 번째 수술안의 술 후 1달째 PE를 예측하는 회귀식을 단순회귀분석을 통해 추정하였다. 모든 공식에서 유의한 회귀식을 산출할 수 있었다( $p<0.001$ , simple regression analysis, Fig. 3).

SRK-T: PE (2nd eye, 1 month) =  $0.029 + 0.352 \times$  PE (1st eye, 1 week)  $R^2=0.233$

Hoffer-Q: PE (2nd eye, 1 month) =  $0.079 + 0.463 \times$  PE (1st eye, 1 week)  $R^2=0.352$

Haigis: PE (2nd eye, 1 month) =  $0.049 + 0.398 \times$  PE (1st eye, 1 week)  $R^2=0.299$

회귀식을 통하여 추정된 PE (2nd eye, 1 month)로 공식별로 계산된 PPOR을 보정하면 새로운 PE를 계산할 수 있다(adjusted PE). 보정된 PE의 평균(MNE, MAE)을 기존 PE와 함께 표시하였다(Fig. 4). 모든 공식에서 보정된 PE로 계산하였을 때 통계적으로 유의하게 MAE의 크기는 감소하



**Figure 4.** Mean absolute error of prediction error & adjusted PE of 2nd operated eye by each IOL formula, measured at post-operative day 1 month ( $\pm$  standard error).  $p$ -values were obtained by the Wilcoxon's signed ranks test.

였다( $p=0.016$  [SRK-T],  $p=0.001$  [Hoffer-Q],  $p=0.001$  [Haigis], Wilcoxon's signed ranks test).

## 고 찰

본 연구는 지연된 순차적 양안 백내장수술이 두 번째 수술안의 RE를 줄이는 데 도움이 될 수 있음을 밝혔고, 이러한 조정 과정에 1주간 수술 간격이 유용함을 확인한 데에 의의가 있다. 백내장수술 후 PE는 크게 2가지 원인에 의하여 발생한다고 알려져 있다. 첫 번째는 백내장수술 도중 술자가 만든 CCC의 위치와 크기의 차이이며, 두 번째는 인공수정체공식이 수술 후 인공수정체의 위치(ELP)를 정확하게 예측하기 못하기 때문에 발생하는 오차이다.<sup>8</sup> 사람의 두 눈은 대개 안구생체계측에서 높은 유사성을 보인다.<sup>9</sup> 한 명의 술자에 의하여 가능한 균일한 위치와 크기로 CCC를 만든다고 가정할 경우, 두 눈의 안구생체계측치의 유사성을 근거로 첫 번째 수술의 PE를 통해 ELP로 인해 발생한(곧, 두 번째 수술에서 발생할 예정인) 오차의 정도를 가늠할 수 있고, 이를 통해 두 번째 수술의 PE를 추정할 수 있을 것이다.

이러한 이유로 Turnbull은 첫 번째 백내장수술 결과를 두 번째 수술에 활용하고자 하는 경우 양안의 대칭성을 확인하여야 한다고 언급한 바 있다.<sup>9</sup> 이 경우에는 부등시나 굴절성 약시, 후포도종이 있는 환자는 제외하는 것이 고려된다. 영국왕립안과학회는 양안 AXL의 길이가 0.7 mm, K가 0.9 D 이상 차이가 날 경우 안구생체계측을 반복하는 것을 권고하고 있다.<sup>10</sup> 본 연구에서 양안 AXL의 길이 차이가 0.7 mm를 초과하는 환자는 4명, K가 0.9 D 이상 차이가 나는 환자는 7명이었으며, 결과를 해석함에 있어 비대칭성을 가진 환자들이 일부 포함되어 있어 결과의 유의성 저하에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 본 연구에 참여한 100명의 경우 AXL, K, LT, ACD, 각막직경 모두 양안에서 통계적으로 차이가 없었으며 K를 제외한 모든 항목에서 평균의 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 1). K의 경우 0.15 D의 차이를 보여주었는데, 이는 7명의 환자들이 각막굴절력 0.9 D 이상의 비대칭성을 갖고 있었기 때문인 것으로 보인다. 7명의 환자들을 제외하면 K의 차이는 0.07 D로 감소하였다.

지연된 순차적 양안 백내장수술에서 첫 번째 수술안의 광학적 임상결과를 두 번째 수술에 활용하고자 하는 노력은 새로운 일은 아니다. Jabbour et al<sup>11</sup>은 첫 번째 수술의 PE 전체를 두 번째 수술안에 반영하였을 때 유의한 PE의 감소를 관찰할 수 없었으나, 이후 Covert et al<sup>12</sup>의 연구에서 첫 번째 수술안 PE의 50%만 두 번째 수술안에 적용한 경우에 두 번째 수술에서 PE가 유의하게 감소함을 증명한 바

있다.<sup>8,9,12-14</sup> PE의 100%를 두 번째 수술안에 반영하는 것은 안구생체계측 및 다른 부분에서 발생한 오류가 함께 반영될 가능성이 있기 때문에 적절하지 않다. 이에 따라 2017년 NICE 가이드라인에서는 첫 번째 수술안의 RE의 50%를 두 번째 수술에 반영하도록 권고하고 있다.<sup>15</sup>

본 연구에서 모든 수술의 인공수정체 도수 결정은 이러한 연구 결과를 염두에 두고 진행되었다. 첫 번째 수술안의 PE가 0.3 D 이상 발생하였을 경우, 두 번째 수술에도 이러한 오차가 발생할 것이라고 가정하여 인공수정체 도수를 한 단계 높이거나 낮춘 것이다. 이러한 보정이 효과가 있다면, 두 번째 수술의 RE는 감소할 것이며(즉, 원하는 Target에 가까워질 것이며) RE의 절대값의 평균(MAE)은 0에 가까워질 것이다. 본 연구에서 RE의 절대값의 평균은 첫 번째 수술안에서 +0.376 D, 두 번째 수술안에서 +0.316 D로 크기는 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다( $p=0.300$ ). 이러한 결과가 나타난 이유는, 수술 후 일주일째 측정된 PE가 0.3 D보다 크지 않아 보정을 필요로 하지 않았던 환자가 100명 중 대부분을 차지하고 있기 때문이다. 즉, 대부분의 환자는 보정 없이도 원하는 굴절력을 성공적으로 얻을 수 있다고 해석되며, 이로 인해 통계학적인 효과는 희석된 것으로 보인다. 이러한 결과는 기존 다른 저자들의 연구에서도 확인된 바 있다.<sup>19</sup> 반대로, 하위그룹 분석에서 첫 번째 수술안에서 술 후 일주일째 측정된 RE가 0.5D 이상이었던 환자군(곧, 인공수정체 도수를 보정한 환자군)만 선별하였을 때는, MAE가 두 번째 수술에서 유의하게 감소함을 확인할 수 있었다.

AXL가 길거나 짧은 양 극단의 환자들은 보정의 효과가 더 강력할 것으로 추측된다.<sup>13</sup> 그러나 본 연구의 하위그룹 분석에서는 AXL가 26.5 mm 초과인 환자군과 23.0 mm 미만인 환자군에서 보정에 의한 RE의 감소 효과는 통계적으로 유의하지 않았다. 조금 더 유의한 결과를 확인하기 위해서는 첫 번째 수술에서 PE가 컸던 인원(곧, 인공수정체 도수를 보정한 인원)이 충분히 확보되어야 하며 이를 위해서는 추가적인 대규모 연구가 필요할 것으로 생각된다. 이와 더불어 앞서 언급한 비대칭성을 가진 환자들 역시 결과를 해석할 때 제외하는 것이 필요할 수 있다.

Turnbull and Barrett<sup>9</sup>은 지연된 양안 백내장수술의 굴절 보정을 얻기 위해 4주 이상 두 수술 사이의 간격을 두도록 권고하고 있다. 그러나 대한민국에서는 많은 병원에서 일주일 정도의 짧은 간격을 둔 양안 백내장수술이 시행되고 있다. 일주일의 인공수정체 굴절력이 완전히 안정되기에는 짧은 시간이지만, 의료재정문제, 반대안 수술을 기다리는 환자의 불편 등을 고려하여 불가피하게 선호되는 경향을 보인다. 본 연구는 일주일 간격의 짧은 시간차를 둔 양안

백내장수술에서도 첫 번째 수술안의 RE가 0.5 D 이상인 경우 굴절 보정을 성공적으로 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 다만 PE를 분석하였을 때 보정하지 않은 PE의 크기의 평균(MAE)은 두 번째 수술안에서 유의하게 감소하였다. 이론적으로 보정하지 않았다면 PE의 크기의 평균은 두 수술 사이에 차이가 없어야 한다. 이 차이는 첫 번째 수술의 PE를 계산할 때 인공수정체의 굴절학적 불안정성이 남아 있는 수술 후 일주일째의 결과를 사용하기 때문에 발생한 것이다. 일주일 간격의 지연된 양안 백내장수술은 한 달 간격의 백내장수술을 분석한 기존 연구에 필적하는 유의한 수준의 상관관계를 모든 공식에서 보여주었다. 그러나, 이론적으로는 일주일보다 긴 시간 간격을 두고 수술하는 것이 굴절학적인 측면에서는 반대 눈 교정 효과가 클 가능성이 있겠다.

수술 후 일주일째의 굴절학적 불안정성은 첫 번째 수술 안에서의 1주차 PE와 4주차 PE를 비교함으로써 조금 더 분명하게 알 수 있다. Hoffer Q, Haigis formula에서 MAE, MNE 모두  $p<0.05$ 로 유의하게 1주차 때보다 4주차때 PE가 줄어들음을 확인하였다(Appendix Table 1). 이는 1주차의 결과에 굴절학적 불안정성 내지는 수술 후 창상 치유 회복 과정의 오차가 남아있다는 것을 의미한다. 이러한 오차는 실제로 보정의 정확도를 떨어뜨리는 주 원인이 될 수 있고, 이론적으로는 일주일보다 긴 시간 간격을 두고 수술하는 것이 조금 더 정확한 보정을 할 수 있게 도와줄 수 있음을 시사한다. 그러나 실제적으로 한 달의 간격을 두고 양안을 수술하기는 어려운 점이 많고, 1주와 한 달 PE값의 차이는 매우 미미하다. 본 논문의 주제는 일주일까지 수술 간 간격을 좁혔을 때 보정 효과가 있을지 여부이고, 이러한 관점에서 ‘일부 오차가 발생하겠으나 그럼에도 불구하고 보정의 효과를 볼 수 있겠다’가 핵심이 될 수 있다.

최근에는 인공수정체 공식(SRK-T, Hoffer-Q, Holladay I, Haigis, Barrett universal II 등)에 따라 세분화된 계수 보정을 통해 두 번째 수술안의 PPOR을 보정하는 것은 물론, 환자 개인별로 최적화된 IOL Constant를 첫 번째 수술안의 결과를 통해 계산하고자 하는 노력까지 이루어지고 있다.<sup>9,14</sup> Olsen<sup>14</sup>은 SRK-T에서는 38%, SRK II에서는 56%의 보정이 필요함을 확인하였고 Turnbull and Barrett<sup>9</sup>은 Barrett universal II에서는 30% (0.30), 그외 공식에서는 대략 50% (0.50: SRK-T는 0.48, Hoffer Q는 0.56, Holladay I은 0.53)의 보정 계수를 계산하였는데, 이는 본 연구에서 산출된 회귀 계수(SRK-T는 0.352, Hoffer-Q는 0.463, Haigis는 0.398)와 유사한 것이다. 본 연구에서 얻은 회귀식과의 차이는 앞서 언급한 대로 본 연구에서는 첫 번째 수술 후 일주일 뒤의(즉, 굴절학적으로 완전히 안정되기 전 상태인) PE를 사

용하였기 때문에 발생한 것으로 생각된다.

참고로, PE의 평균(mean numerical error)은 이론적으로 0이 되어야 하지만,<sup>14</sup> 실제로 두 번째 수술안에서 수술 한 달 뒤 측정된 MNE는 -0.039 D (SRK-T), +0.027 D (Hoffer-Q), -0.007 D (Haigis)로 약간의 오차가 있었다. 이는 IOL constant의 보정이 필요함을 암시한다. 보정되지 않은 IOL constant는 MAE의 크기를 두 눈 모두에서 증가시켜 통계적 유의성을 희석시키게 된다. 추가적인 연구에서는 IOL constant의 보정이 추가로 수행되어야 할 것이며, 수행되지 못한다면 결과를 해석할 때 반드시 고려하여야 할 점이다.

앞서 언급한 본 연구의 제한점을 요약하여 보면, 첫 번째로 100명의 분석 대상 가운데 양안의 AXL 차이가 0.7 mm를 초과하는 환자 4명, K 차이가 0.9 D를 초과하는 환자 7명 등 양안의 비대칭성을 가진 환자들이 일부 포함되어 통계적 유의성이 희석되었다는 것이다. 그러나, 7명의 환자들이 비대칭성을 가지기는 하나 그중 AXL 차이가 1.0 mm를 초과하는 환자는 1명뿐이었고, K가 1.5 D 이상 차이가 나는 환자는 2명뿐이어서 실제로 제거하고 통계처리를 하여 보아도 RE가 두 번째 수술안에서 감소하지만 유의하지는 않은 비슷한 결과가 도출됨을 확인하였다. 두 번째는 세부 그룹 분석에서 각 그룹의 인원수가 적어 모든 세부 그룹에서 유의한 통계학적 차이를 발견하지 못했다. 세 번째로, 대부분의 환자가 첫 번째 수술의 PE가 크지 않아 보정이 필요로 하지 않았던 환자들이 다수 포함됨으로써 실제 보정의 효과가 상당량 희석되어 나타났으나, 세부 그룹 분석에서 보정의 효과를 확인할 수 있었다. 추후 실제 보정을 시행한 환자들만을 선별하여 대규모 연구를 진행하면 보정의 효과를 뚜렷하게 확인할 수 있을 것을 생각된다. 마지막으로 분석 과정에서 IOL constant의 보정을 수행하지 않아 MAE가 실제보다 크게 측정되어 결과의 유의성이 희석되었음을 유의하여야 한다.

결론적으로, 지연된 순차적 양안 백내장수술에서 첫 번째 수술안의 광학적 임상결과를 고려하는 것이 두 번째 수술안의 광학적 임상결과를 향상시킬 수 있으며, 특히 첫 번째 수술안의 RE가 큰 경우 뚜렷한 향상을 보였다. 본 연구는 그동안 국제적으로 발표된 국외 보고 결과를 지지하며, 이에 더하여 일주일 간격의 지연된 순차적 양안 백내장수술 역시 동시 백내장수술에 비하여 적합한 환자군에서 상당한 굴절학적 이득을 얻을 수 있음을 보여준다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

## REFERENCES

- 1) Kim JH, Kong SJ, Kim JW, et al. Efficacy and safety of immediate sequential bilateral cataract surgery. *J Korean Ophthalmol Soc* 2015;56:1854-9.
- 2) Singh R, Dohlman TH, Sun G. Immediately sequential bilateral cataract surgery: advantages and disadvantages. *Curr Opin Ophthalmol* 2017;28:81-6.
- 3) Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:368-76.
- 4) Olsen T, Løgstrup N, Olesen H, Corydon L. Using the surgical result in the first eye to calculate intraocular lens power for the second eye. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:36-9.
- 5) Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology* 2018;125:169-78.
- 6) Royal College of Ophthalmologists. Cataract commissioning guide for Adult Cataract [Internet]. London: Royal College of Ophthalmologists, c2018 [cited 2020 Aug 8]. Available from: <https://www.rcophth.ac.uk/wp-content/uploads/2018/02/Cataract-Commissioning-Guide-January-2018.pdf>.
- 7) Charlesworth E, Alderson AJ, de Juan V, Elliott DB. When is refraction stable following routine cataract surgery? A systematic review and meta-analysis. *Ophthalmic Physiol Opt* 2020;40:531-9.
- 8) Jivrajka RV, Shammas MC, Shammas HJ. Improving the second-eye refractive error in patients undergoing bilateral sequential cataract surgery. *Ophthalmology* 2012;119:1097-101.
- 9) Turnbull AMJ, Barrett GD. Using the first-eye prediction error in cataract surgery to refine the refractive outcome of the second eye. *J Cataract Refract Surg* 2019;45:1239-45.
- 10) Royal College of Ophthalmologists. Cataract surgery: guidelines. London: Royal College of Ophthalmologists, c2010; [cited 2020 Aug 8]. Available from: <https://www.rcophth.ac.uk/wp-content/uploads/2014/12/2010-SCI-069-Cataract-Surgery-Guidelines-2010-SEPTEMBER-2010-1.pdf>.
- 11) Jabbour J, Irwig L, Macaskill P, Hennessy MP. Intraocular lens power in bilateral cataract surgery: whether adjusting for error of predicted refraction in the first eye improves prediction in the second eye. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:2091-7.
- 12) Covert DJ, Henry CR, Koenig SB. Intraocular lens power selection in the second eye of patients undergoing bilateral, sequential cataract extraction. *Ophthalmology* 2010;117:49-54.
- 13) Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. First eye prediction error improves second eye refractive outcome results in 2129 patients after bilateral sequential cataract surgery. *Ophthalmology* 2011;118:1701-9.
- 14) Olsen T. Use of fellow eye data in the calculation of intraocular lens power for the second eye. *Ophthalmology* 2011;118:1710-5.
- 15) National Institute for Health and Care Excellence. Cataracts in adults: management. London: National Institute for Health and Care Excellence, c2017; [cited 2020 Aug 8]. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng77>.

= 국문초록 =

## 순차적 백내장수술에서 첫 번째 수술안 예측오차가 두 번째 수술안의 광학적 보정에 미치는 효과

**목적:** 일주일 간격의 지연된 순차적 양안 백내장수술에서 첫 번째 수술안의 예측오차를 통한 두 번째 수술안의 굴절 보정 효과를 연구하였다.

**대상과 방법:** 일주일 간격으로 양안 백내장수술을 시행 받은 100명을 대상으로, 의무기록의 후향 분석을 수행하였다. 굴절오차는 술 후 굴절력과 의도된 목표 굴절력과의 차이, 예측오차는 술 후 굴절력과 인공수정체공식(SRK-T, Hoffer-Q, Haigis)별로 계산된 예측 굴절력과의 차이로 측정하였다. 술 후 1주와 1달에 굴절력을 측정하였으며, 첫 번째 술 후 1주에 예측오차를 계산하여 크기가 0.25 diopters (D) 이상일 경우 이에 맞추어 두 번째 수술의 인공수정체 도수를 조정하였다. 술 후 1달 굴절오차의 크기를 양안에서 비교하였다. 술 후 1주에 측정한 첫 번째 수술안의 예측오차와 술 후 1달에 측정한 반대안의 예측오차와의 상관 관계를 분석하였다.

**결과:** 굴절오차의 크기는 두 번째 수술에서 감소하였으나, 통계적으로 유의하지는 않았다. 그러나, 첫 번째 수술안의 굴절 오차가 0.5 D 이상인 경우에는 두 번째 안의 굴절오차가 유의하게 감소하였다( $p < 0.05$ ). 술 후 1주에 측정한 첫 번째 수술안의 예측오차와 술 후 1달에 측정한 반대안의 예측오차는 유의한 상관 관계를 보여주었다( $r = 0.483$  [SRK-T],  $r = 0.593$  [Hoffer-Q],  $r = 0.547$  [Haigis];  $p < 0.001$ ).

**결론:** 첫 번째 수술안의 굴절오차가 0.5 D보다 높은 경우, 일주일 간격의 지연된 순차적 양안 백내장수술은 두 번째 수술안의 굴절 결과를 보정하는 데 도움을 줄 수 있다.

〈대한안과학회지 2021;62(2):207-215〉

박민섭 / Min Seob Park

서울대학교 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology,

Seoul National University College of Medicine





**Appendix Table 1.** Comparison of MAE and MNE of PE by each IOL formula, measured in 1st operated eye at post-operative day 1 week and 4 weeks respectively

	SRK-T	<i>p</i> -value*	Hoffer-Q	<i>p</i> -value*	Haigis	<i>p</i> -value*
MNE (diopters) (1 vs. 4 weeks)	-0.195 vs. -0.015	<0.001	-0.112 vs. +0.068	<0.001	-0.142 vs. +0.038	<0.001
MAE (diopters) (1 vs. 4 weeks)	+0.421 vs. +0.405	0.059	+0.469 vs. +0.405	0.013	+0.423 vs. +0.367	0.018

MAE = mean absolute error; MNE = mean numerical error; PE = prediction error; IOL = intraocular lens.

\*Wilcoxon's signed ranks test.