

# 이중샤임플러그 전안부분석기를 이용한 백내장 수술 시 인공수정체 도수 계산

## Intraocular Lens Power Calculations Using Dual Scheimpflug Analyzer

이영복<sup>1</sup> · 이가영<sup>1</sup> · 배소현<sup>1</sup> · 김하경<sup>1</sup> · 현준영<sup>2,3</sup> · 위원량<sup>2</sup> · 신영주<sup>1</sup>

Young Bok Lee, MD<sup>1</sup>, Ka Young Yi, MD, PhD<sup>1</sup>, So Hyun Bae, MD<sup>1</sup>, Ha Kyoung Kim, MD, PhD<sup>1</sup>,  
Joon Young Hyon, MD, PhD<sup>2,3</sup>, Won Ryang Wee, MD, PhD<sup>2</sup>, Young Joo Shin, MD, PhD<sup>1</sup>

한림대학교 의과대학 강남성심병원 안과학교실<sup>1</sup>, 서울대학교 의과대학 안과학교실<sup>2</sup>, 서울대학교 의과대학 분당서울대학교병원 안과학교실<sup>3</sup>

Department of Ophthalmology, Kangnam Sacred Heart Hospital, Hallym University College of Medicine<sup>1</sup>, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Seoul National University College of Medicine<sup>2</sup>, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Seoul National University Bundang Hospital, Seoul National University College of Medicine<sup>3</sup>, Seongnam, Korea

**Purpose:** To investigate the accuracy of intraocular lens power calculations using simulated keratometry (simK) of dual Scheimpflug analyzer and 5 types of formulas in cataract patients.

**Methods:** The keratometry (K), axial length (AXL) and anterior chamber depth (ACD) were measured using ultrasound biometry (USB) combined with auto-keratometry (Auto-K), partial coherence interferometry (PCI; IOL master<sup>®</sup>) and dual Scheimpflug analyzer (DSA; Galilei<sup>®</sup>) in 39 eyes of 39 patients. Predicted refraction was calculated using Auto-K, mean K of PCI, and simK and total corneal power (TCP) of DSA in the Sanders-Retzlaff-Kraff (SRK-T) formula. The SRK-II, SRK-T, Holladay II, Haigis, and Hoffer-Q formula were used to calculate predicted refraction with the simK of DSA and AXL of USB. Manifest refraction, mean numerical error (MNE) and mean absolute error were evaluated 1, 3 and 6 months after cataract surgery.

**Results:** TCP of DSA was lower compared with other keratometric values ( $p < 0.05$ ). The MNE was not different among Auto-K, mean K and simK. The MNE using TCP was larger compared with Auto-K, mean K and simK at 1 month after surgery ( $p < 0.05$ ). There was a difference in MNE between simK and TCP of DSA at 6 months after surgery ( $p < 0.05$ ). The MNE of SRK-T formula was the smallest in the intraocular lens (IOL) power calculation using the simK of DSA.

**Conclusions:** We suggest using IOL power calculations with simK of DSA and SRK-T formula rather than TCP of DSA in cataract patients with normal corneas.

J Korean Ophthalmol Soc 2016;57(3):369-379

**Keywords:** Cataract surgery, Dual Scheimpflug analyzer, Intraocular lens power calculation

백내장 수술 방법의 발전과 다양한 인공수정체의 개발로

인해 백내장 수술 시 환자의 기대감이 증가하고 있다. 수술 후 환자의 만족도를 높이기 위해서는 정확한 예측굴절력을 계산해야 하는데 정확한 예측굴절력을 얻기 위해서는 인공수정체 도수를 계산하는 것이 무엇보다도 중요한 과정이라고 할 수 있다.<sup>1</sup> 인공수정체 도수의 계산에 있어 안축장, 각막 굴절력, 전방깊이 등의 생체측정값과 인공수정체 도수 계산공식이 필수적이다.<sup>2,3</sup> 이러한 이유로 인공수정체 도수 계산은 지난 30년 동안 지속적으로 개발되어 왔다.

실제 임상에서 인공수정체 도수계산의 오차가 발생하며,

■ Received: 2015. 6. 5.      ■ Revised: 2015. 9. 2.

■ Accepted: 2015. 11. 14.

■ Address reprint requests to Young Joo Shin, MD, PhD  
Department of Ophthalmology, Hallym University Kangnam  
Sacred Heart Hospital, #1 Singil-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul  
07441, Korea  
Tel: 82-2-829-5193, Fax: 82-2-848-4638  
E-mail: schinn@hanmail.net

© 2016 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.

오차 원인 중 54%는 주로 안축장 측정에서 일어난다고 보고되어 있다.<sup>4</sup> 특히 안축장이 긴 고도근시의 경우 안축장 측정의 오차가 발생하기 쉽다.<sup>5</sup> 안축장의 정확한 생체계측을 위하여 immersion 초음파계측기, 부분결합간섭계 등이 개발되어 사용되고 있다.<sup>1</sup> 기존에 초음파계측방식이 안축장 측정을 위해 주로 사용되어 왔으나, 안구에 직접 접촉하지 않고 측정할 수 있는 부분결합간섭계 등이 개발되어 사용되고 있다.<sup>3,6</sup> 특히 부분결합간섭계 등의 비접촉식 광학적 생체계측법은 사용 방법이 쉽고 검사 시간이 적으며 정확성과 재현성이 좋아 기존의 접촉식 초음파계측기를 대체해 가고 있다.<sup>6,7</sup>

안축장의 정확한 계측과 더불어 각막굴절력의 측정오차를 줄이는 것이 정확한 인공수정체 도수계산을 위해 중요하다.<sup>2</sup> 일반적으로 각막곡률의 측정에 있어 1디옵터의 오차는 약 1디옵터의 인공수정체 도수의 오차를 유발한다. 특히 각막굴절수술을 받은 경우 예측 굴절력이 원시가 되는 굴절놀람(refraction surprise)이 발생할 수 있기 때문에 각막굴절력의 측정은 인공수정체 도수계산에 있어 매우 중요하다.<sup>8</sup> 각막굴절력의 정확한 계측을 위하여 각막굴절력 측정 방법은 자동 각막굴절계(auto keratometer, Auto-K) 방식에서 플라시도링 각막지형도방식과 slit-scanning 방식을 거쳐 샤임플러그카메라를 이용하는 방식으로 발전되어 왔다. 기존의 각막굴절계는 3 mm 링에서 1.3375라는 굴절상수를 일률적으로 대입하여 각막굴절력을 측정한다. 최근 도입된 이중샤임플러그 전안부분석기(Galilei<sup>®</sup>; Ziemer Group, Port, Switzerland)는 simulated keratometry (simK)와 총각막굴절력(total corneal power, TCP)이라는 수치를 제시하였다.<sup>9</sup> simK는 각막후면의 굴절력을 고려하지 않고 각막전면의 굴절력을 바탕으로 1.3375라는 굴절상수를 사용하여 얻은 수치이다. 하지만 총각막굴절력(total corneal power)은 ray tracing 방법을 통해 각막전면과 후면의 굴절력을 직접 측정하여 얻은 수치로 굴절률(1.376/1.336), 표면의 기울기, 굴절되는 정확한 지점을 고려하여 총각막굴절력을 산출한다.<sup>9</sup> 이렇게 측정된 총각막굴절력은 특히 라식이나 라섹 등 각막굴절수술 후의 인공수정체 도수를 계산할 때 도움이 된다고 알려져 있다.<sup>10-12</sup> 그런데 ray tracing 방법을 통해 얻은 총각막굴절력이 정상안에서 인공수정체 도수계산에 유용한지에 대해서는 아직 논란의 여지가 있다.<sup>13,14</sup> 이에 본 연구에서는 각막굴절수술을 받은 적이 없는 정상각막을 가진 백내장 수술 환자에서 자동 각막굴절계(Auto-K)와 부분결합간섭계(partial coherence interferometry, PCI; IOL master<sup>®</sup>) 및 이중샤임플러그 전안부분석기(dual Scheimpflug analyzer, DSA; Galilei<sup>®</sup>)로 측정한 각막곡률값을 비교하고 이를 이용한 인공수정체 도수계산의 정확성을 비교하고자 하였다.

## 대상과 방법

2013년 1월 1일부터 2013년 1월 31일까지 백내장 수술을 시행 받은 환자를 대상으로 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 대상자는 안축장 길이가 21-25 mm인 환자로 2.85 mm 상측 투명각막절개술과 초음파 수정체유화술 및 인공수정체 후방삽입술을 시행 받았다. 각막질환 혹은 외상의 기왕력이 있거나 이전에 라식, 라섹, 유리체절제술 등의 안과수술을 시행 받은 경우, 주시가 불가능하거나 협조가 되지 않아 계측이 불가능한 경우는 대상자에서 제외하였다. 또한 수술 중 후낭이 파열된 경우, 수정체를 후방에 삽입하지 못한 경우, 각막 절개부위를 봉합한 경우, 수술 후 심한 후낭혼탁이 발생한 경우도 제외하였다.

백내장 수술 전 마지막 외래 내원 시 자동 각막굴절계, 부분결합간섭계, 이중샤임플러그 전안부분석기, 초음파계측기 계측을 시행하였다. 한 명의 숙련된 검사자가 모든 검사를 시행하였고 자동 각막굴절계, 부분결합간섭계, 이중샤임플러그 전안부분석기, 초음파계측기 순서로 검사를 시행하였다. 자동 각막굴절계로 각막굴절력(Auto-K)을 측정하였고, 부분결합간섭계(IOL master<sup>®</sup>, Carl Zeiss, Jena, Germany)를 이용하여 각막굴절력(mean K), 전방깊이와 안축장을 측정하였다. 또한 이중샤임플러그 전안부분석기(Galilei<sup>®</sup>, Ziemer, Portland, Switzerland)로 simulated K (simK), 총각막굴절력(TCP)과 전방깊이를 측정하였으며 초음파계측기(Cinescan A/B<sup>®</sup>, Quantel Medical, Couron d'Auvergne, France)를 이용하여 전방깊이와 안축장을 측정하였다. 자동각막굴절계의 Auto-K, 부분결합간섭계의 mean K, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK와 TCP를 서로 비교하고 상관성을 분석하였다. 안축장은 부분결합간섭계와 초음파계측기로 측정한 값을 비교하고 상관성을 분석하였다. 또한 전방깊이를 부분결합간섭계, 초음파계측기, 이중샤임플러그 전안부분석기로 각각 측정하여 서로 비교하고 상관성을 분석하였다.

백내장 수술 시 인공수정체 도수는 초음파계측기의 안축장과 자동 각막굴절계의 Auto-K를 SRK-T 공식에 대입하여 계산하였고 정시에 가장 가까운 근시를 목표로 하였다. 예상굴절력(predicted refraction)은 초음파계측기의 안축장과 자동 각막굴절계의 Auto-K, 초음파계측기의 안축장과 부분결합간섭계의 mean K, 초음파계측기의 안축장과 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK, 초음파계측기의 안축장과 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 이용하여 각각 계산하였다. 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 이용한 인공수정체 도수계산은 <http://iolcalc.org/> 사이트의 prior myopic laser-assisted in situ keratomileusis (LASIK)/photorefractive keratectomy (PRK)에서 제공한 공식을 사용하였는데 Post-

LASIK/PRK Data에서 Galilei의 총각막굴절력값을 대입하고 Optical /Ultrasound Biometric Data에서 초음파계측기의 안축장, 전방깊이를 대입하여 계산하였다. 또한 이중샤임플러그 전안부분석기에 내장된 프로그램을 통해 초음파계측기의 안축장과 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 SRK-T, SRK-II, Holladay 1, Haigis, Hoffer-Q의 5가지 공식에 대입하여 예상굴절력을 계산하였다. 실제굴절력(manifest refraction spherical equivalent, MRSE)은 백내장 수술 후 1개월, 3개월, 6개월에 산동을 하지 않고 얻은 구면렌즈대응치로 정의하였고 시간에 따른 변화를 비교하였다. 예상굴절력과 구면렌즈대응치의 차이를 평균예측오차(mean numerical error, MNE)로 정의하였고, 이 값이 양인 경우 수술 전 목표보다 원시화된 것으로, 음인 경우 근시화된 것으로 평가하였다. 또한 평균예측오차의 절대값을 절대예측오차(mean absolute error, MAE)로 정의하였다.

본 연구에서는 서로 다른 검사기기 사이에 각막굴절력, 안축장, 전방깊이를 서로 비교하고 상관성을 분석하였다. 또한 백내장 수술 후 1개월, 3개월, 6개월에 4가지 방식을 이용하여 계산된 예측오차를 서로 비교하고 초음파계측기의 안축장과 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 5가

지 공식에 대입하여 계산된 예측오차를 분석하였다.

통계학적인 분석은 SPSS 18.0 version (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 측정기기의 생체계측값을 서로 비교하기 위해 paired-*t* test를 이용하였고, 생체계측값 사이의 일치도를 알아보기 위해 Pearson correlation analysis와 Bland-Altman plot을 사용하였다. 예상굴절력과 예측오차의 비교에는 Wilcoxon rank test를 사용하였다. *p*값의 유의수준은 0.05 미만으로 정의하였다.

## 결 과

본 연구에서는 총 39명 39안(남자 11명, 여자 28명)이 포함되었다. 대상자의 평균 나이는  $69.78 \pm 9.36$ 세(56-84세)였다. 대상자의 수술 전 평균 각막 난시는  $0.75 \pm 0.36$ D ( $0.5$ - $1.5$ D)였으며 직난시 19명, 도난시 21명이었다. 각막굴절력은 부분결합간섭계의 mean K가  $44.51 \pm 1.59$ D, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK가  $44.42 \pm 1.53$ D로 두 측정치 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었으며 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다( $r=0.972$ ,  $p<0.001$ , Pearson correlation analysis, Table 1). 그러나 이중샤임플러그 전안

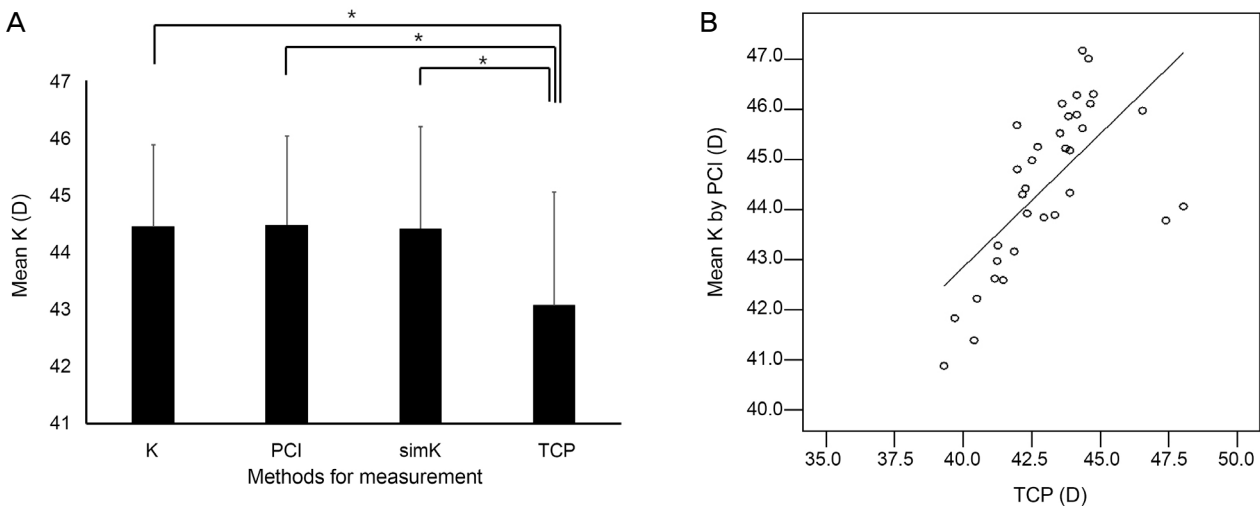
**Table 1.** Demographics and biometry measurements by PCI, USB, and DSA

	PCI	USB-Auto K	DSA-simK	DSA-TCP	<i>p</i> -value
AXL (mm)	$23.04 \pm 0.79$	$23.08 \pm 0.72$	-	-	0.289
ACD (mm)	$3.02 \pm 0.48$	$3.03 \pm 0.49$	$3.04 \pm 0.50$	-	0.822
Mean K (diopter)	$44.51 \pm 1.59$	$44.38 \pm 1.52$	$44.42 \pm 1.53$	$43.07 \pm 1.98^*$	$<0.001^\dagger$

Values are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated.

PCI = partial coherence interferometry; USB = ultrasound biometry; DSA = dual Scheimpflug analyzer; simK = simulated keratometry; TCP = total corneal power; AXL = axial length; ACD = anterior chamber depth; K = keratometry.

\*Paired *t*-test;  $^\dagger$ Repeat measure ANOVA.



**Figure 1.** Mean K according to biometry. (A) TCP is lower compared to auto-keratometry (Auto-K), PCI and simK ( $p < 0.001$  for all, paired *t*-test). (B) TCP is correlated with PCI ( $r = 0.653$ ,  $p < 0.001$ , Pearson correlation analysis). K = keratometry; PCI = partial coherence interferometry; simK = simulated keratometry; TCP = total corneal power. \*Statistically significant.

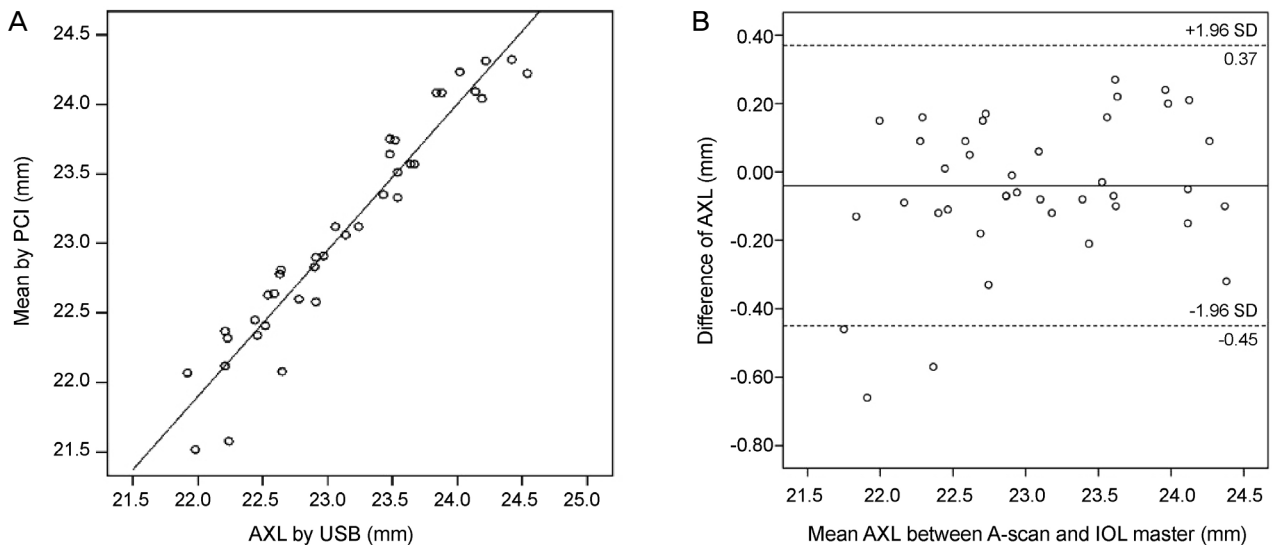
**Table 2.** Comparison of prediction error and proportion ratio among PCI, USB, and DSA

	PCI	USB	DSA-simK	DSA-TCP	p-value
1 month after surgery					
MNE (D)	-0.01 ± 0.25	-0.06 ± 0.26	-0.06 ± 0.30	0.46 ± 1.28	0.001*
MAE (D)	0.14 ± 0.18	0.17 ± 0.20	0.22 ± 0.22	0.93 ± 1.01	
No. of MAE < 0.5 D (%)	36 (90.0%)	34 (85.0%)	32 (80.0%)	21 (52.5%)	0.000†
No. of MAE < 1.0 D (%)	39 (100.0%)	39 (100.0%)	39 (100.0%)	27 (67.5%)	0.000†
6 months after surgery					
MNE (D)	0.04 ± 0.59	0.07 ± 0.56	-0.02 ± 0.53	0.29 ± 0.79	0.471
MAE (D)	0.40 ± 0.34	0.42 ± 0.31	0.38 ± 0.31	0.63 ± 0.55	
No. of MAE <0.5 D (%)	12 (63.2%)	13 (68.4%)	14 (78.9%)	7 (43.8%)	0.181
No. of MAE <1.0 D (%)	17 (89.5%)	18 (94.7%)	18 (94.7%)	12 (75.0%)	0.212

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

PCI = partial coherence interferometry; USB = ultrasound biometry; DSA = dual Scheimpflug analyzer; simK = simulated keratometry; TCP = total corneal power; MNE = mean numerical error; D = diopter; MAE = mean absolute error; No. = number.

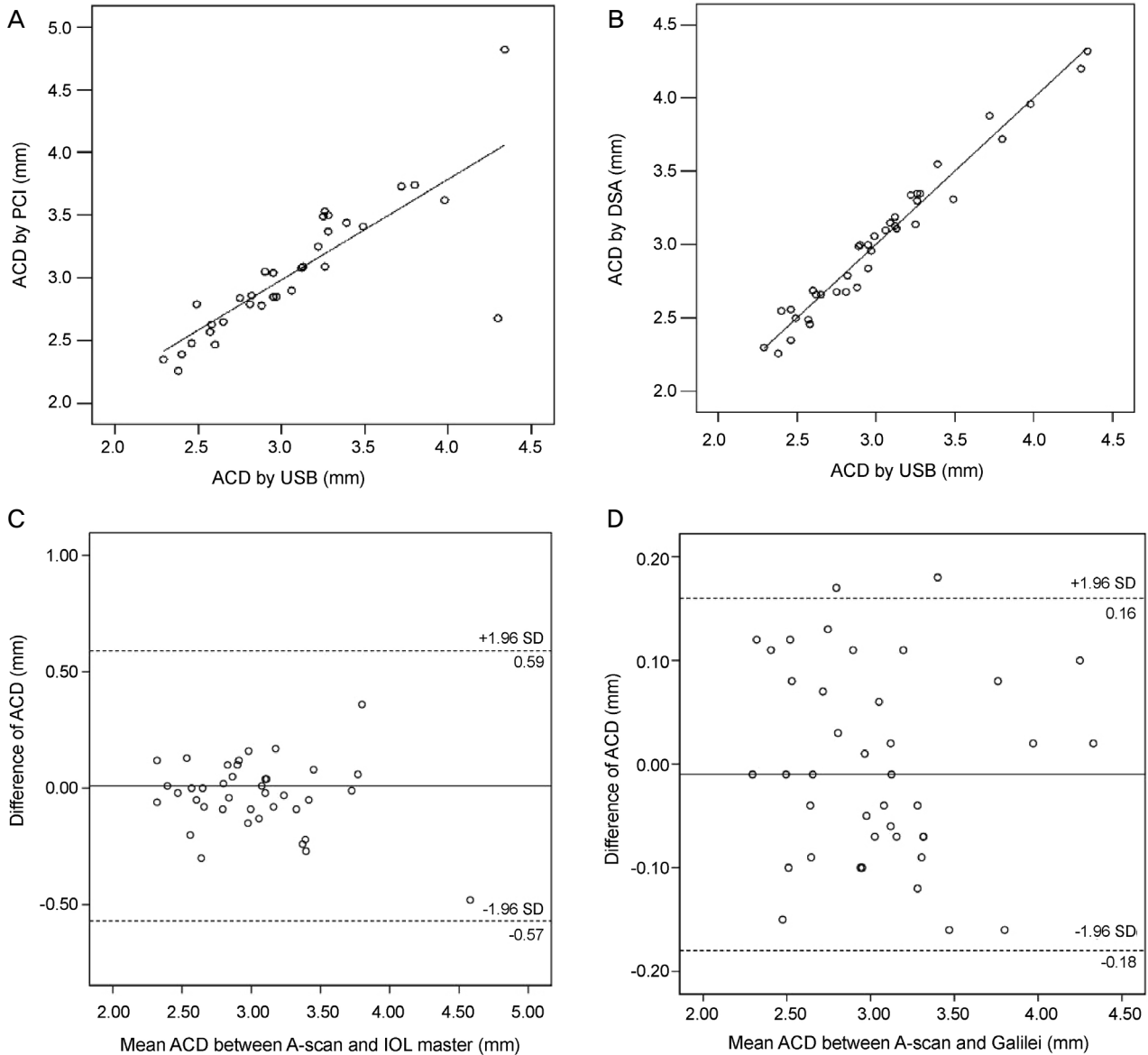
\*Analysis of variance (ANOVA); †Pearson chi-square.



**Figure 2.** Correlation between AXL measured by USB and PCI and Bland-Altman plot of axial length between USB and PCI. (A) Axial length measured by USB was well correlated with PCI ( $r = 0.965$ ,  $p < 0.001$ , Pearson correlation analysis). (B) 95% limits of agreement for axial length difference (USB-PCI) is -0.45 to 0.37. PCI = partial coherence interferometry; AXL = axial lengths; USB = ultrasound biometry; SD = standard deviation.

부분석기의 TCP는 자동각막굴절계로 측정한 Auto-K, 부분결합간섭계로 측정한 mean K, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK보다 통계적으로 유의하게 낮은 것을 보여주었다( $p < 0.001$  for all, paired  $t$ -test, Fig. 1A, Table 2). 이중샤임플러그 전안부분석기의 총각막굴절력은 부분결합간섭계로 측정한 mean K와는 양의 상관관계를 보였다( $r = 0.653$ ,  $p < 0.001$ , Pearson correlation analysis; Fig. 1B). 안축장은 부분결합간섭계에서  $23.04 \pm 0.79$  mm (21.52-24.32 mm), 초음파계측기는  $23.08 \pm 0.72$  mm (21.90-24.54 mm)로 두 측정치 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다( $p = 0.173$ , paired  $t$ -test, Table 1). 두 측정기 사이에 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며( $r = 0.965$ ,  $p < 0.001$ , Pearson cor-

relation analysis; Fig. 2A), Bland-Altman plot 상 대부분이 95% limit of agreement 구간 내에 존재하여 높은 일치율을 보였다(Fig. 2B). 95% limit of agreement 구간은 -0.45에서 0.37이었다. 전방깊이는 부분결합간섭계에서는  $3.02 \pm 0.48$  mm, 초음파계측기에서  $3.03 \pm 0.49$  mm, 이중샤임플러그 전안부분석기에서  $3.04 \pm 0.50$  mm로 서로 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 전방깊이는 부분결합간섭계와 초음파계측기, 부분결합간섭계와 이중샤임플러그 전안부분석기, 초음파계측기와 이중샤임플러그 전안부분석기 사이에 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다( $r = 0.811$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.821$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.982$ ,  $p < 0.001$ , Pearson correlation analysis; Fig. 3A, B). 부분결합간섭계와 초음파계측기, 이

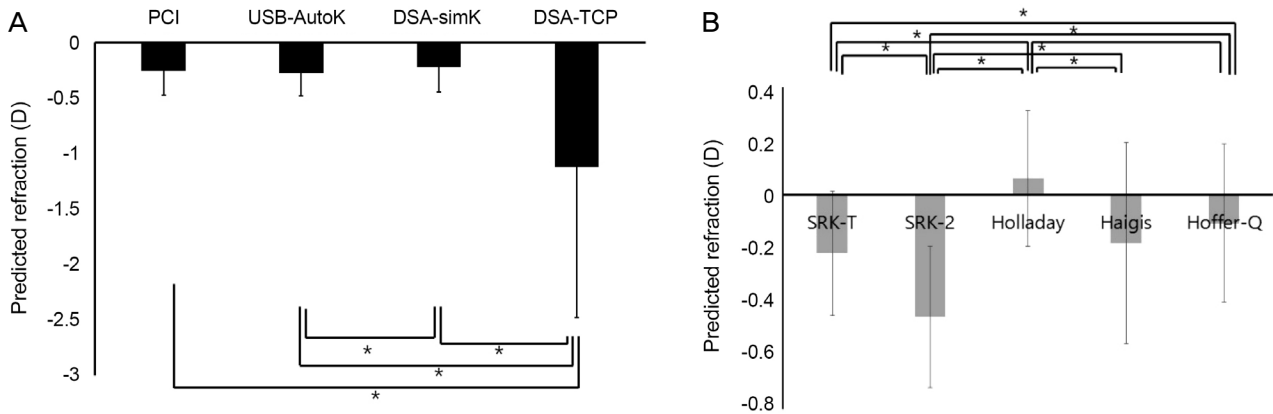


**Figure 3.** Correlation and Bland-Altman plot of ACD between USB and PCI or DSA. (A) ACD measured by PCI was well correlated with USB ( $r = 0.811$ ,  $p < 0.001$ , Pearson correlation analysis). (B) ACD measured by DSA was well correlated with USB ( $r = 0.982$ ,  $p < 0.001$ , Pearson correlation analysis). (C) 95% limits of agreement for ACD difference (USB-PCI) was -0.57 to 0.59. (D) 95% limits of agreement for ACD difference (USB-DNA) was -0.18 to 0.16. ACD = anterior chamber depth; USB = ultrasound biometry; PCI = partial coherence interferometry; DSA = dual Scheimpflug analyzer; SD = standard deviation.

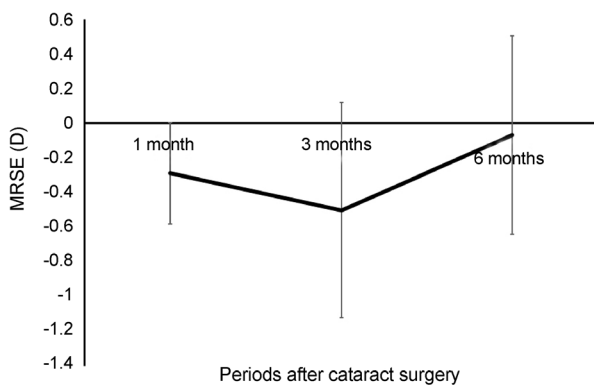
중샤임플러그 전안부분석기와 초음파계측기 사이의 비교에서 대부분의 수치가 95% limit of agreement 구간 내에 존재하여 각각 높은 일치율을 보였다(Fig. 3C, D).

상측투명각막절개술을 이용한 초음파유화술 및 인공수정체 후방삽입술 시 계산한 예상굴절력은 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 이용하였을 때 가장 작았으며, 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 이용하였을 때 가장 컸다. 부분결합간섭계의 mean K를 이용한 예상굴절력은 Auto-K 혹은 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 이용한 예상굴절력과 차이를 보이지 않았으나 Auto-K를 이용

한 예측굴절력은 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK로 계산한 예상굴절력과 차이를 보였다( $p=0.045$ , paired  $t$ -test; Fig. 4A). 또한 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 이용한 예상굴절력은 다른 검사방법의 예상굴절력과 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.003$  for all, paired  $t$ -test, Fig. 4A). 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 이용하여 인공수정체 도수계산을 위한 5가지 공식으로 계산하였을 때 예상굴절력은 SRK-T 공식과 Haigis 공식 사이에 차이를 보이지 않았고, SRK-T로 계산한 예상굴절력은 SRK-2, Holladay, Hoffer-Q로 계산한 예상굴절력과 각각 차이를 보였다. 특



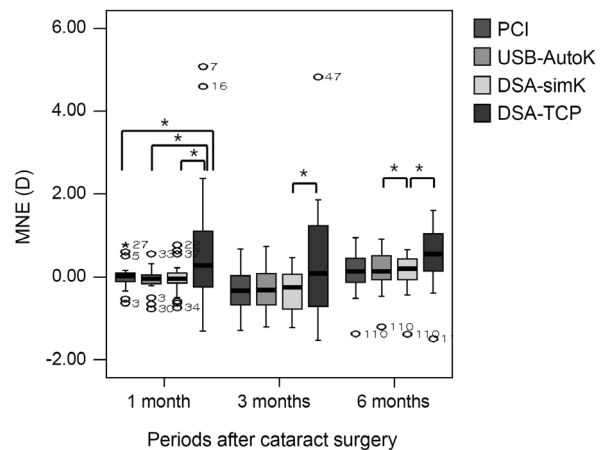
**Figure 4.** Predicted refraction according to biometry or formula. (A) Predicted refraction is not different between PCI and Auto-K combined with USB or between PCI and DSA. Predicted refraction is different between USB and DSA ( $p=0.045$ , paired  $t$ -test). Predicted refraction calculated using TCP is higher compared with other methods ( $p = 0.003$  for all, paired  $t$ -test). (B) Predicted refraction is different between formulas ( $p < 0.05$ , paired  $t$ -test). PCI = partial coherence interferometry; Auto-K = auto-keratometry; USB = ultrasound biometry; DSA = dual Scheimpflug analyzer; simK = simulated keratometry; TCP = total corneal power; SRK = Sanders-Retzlaff-Kraff. \*Statistically significant.



**Figure 5.** Change in MRSE overtime. There is no significant change over time (Wilcoxon rank test). MRSE = manifest refraction spherical equivalent.

히 Holladay 공식은 다른 모든 공식들과 유의한 차이를 보였다(Fig. 4B).

본 연구에 포함된 환자는 백내장 수술 후 1개월에는 모두 방문하였으나 3개월에는 23명이, 6개월에는 19명만이 방문하여 검사를 시행하였다. 백내장 수술 후 1개월에 측정된 각막난시는 평균 각막 난시는  $0.80 \pm 0.41D$  ( $0 \sim 1.75D$ )였다. 수술 전과 백내장 수술 후 1개월에 측정된 각막난시의 변화량은  $-0.05 \pm 0.45D$  ( $-1.0 \sim 1.0D$ )였다. 실제굴절력은 백내장 수술 후 1개월에서 6개월까지 시간에 따른 통계적인 차이를 보여주지 않았다(Fig. 5). 백내장 수술 후 1개월에 측정된 평균예측오차는 부분결합간섭계에서  $-0.01 \pm 0.25D$ , 초음파계측기와 Auto-K에서  $-0.06 \pm 0.26D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK에서  $-0.06 \pm 0.30D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP에서  $0.46 \pm 1.28D$ 로 부분결

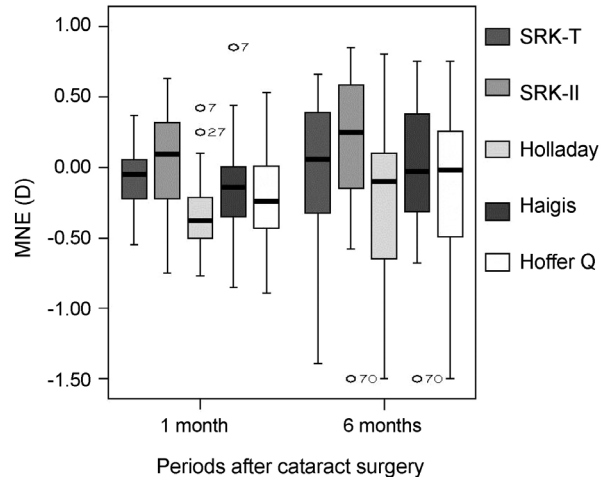


**Figure 6.** MNE according to biometry overtime. MNE is not different between PCI, Auto-K combined with USB and DSA 1 month and 3 months after surgery. However, MNE calculated with DSA-simK is lower compared to USB ( $p = 0.046$ , Wilcoxon rank test). MNE using TCP is higher compared to other methods 1 month after surgery ( $p = 0.023$ ,  $0.013$  and  $0.009$ ), and higher compared to DSA-simK 3 months and 6 months after surgery ( $p = 0.042$  and  $0.039$ ). MNE = mean numerical error; PCI = partial coherence interferometry; Auto-K = auto-keratometry; USB = ultrasound biometry; DSA = dual Scheimpflug analyzer; simK = simulated keratometry; TCP = total corneal power. \*Statistically significant.

합간섭계의 오차가 가장 작았고 부분결합간섭계, Auto-K와 초음파계측기, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 방식 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP로 계산한 평균예측오차는 나머지 방법으로 계산한 평균예측오차보다 유의하게 컸다( $p=0.023$ ,  $0.013$  and  $0.009$ , Wilcoxon rank test; Fig. 6).

절대예측오차 역시 부분결합간섭계에서  $0.14 \pm 0.18D$ , Auto-K와 초음파계측기방식에서  $0.17 \pm 0.20D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 방식에서  $0.22 \pm 0.22D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP에서는  $0.93 \pm 1.01D$ 였다. 절대예측오차가  $0.5D$  이내인 비율은 부분결합간섭계에서 90%, Auto-K와 초음파계측기 방식에서 85%, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 방식에서 80%, 이중샤임플러그 전안부분석기의 총각굴절력 방식에서는 52.5%였으며 네 군 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.  $1.0D$  이내인 비율은 부분결합간섭계, Auto-K와 초음파계측기방식, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 방식 모두 100%로 비교적 수술 후 실제굴절력이 예상굴절력에 근접하였으나 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP 방식은 67.5%만  $1.0D$  이내에 분포하였다. 백내장 수술 후 3개월에 평균실제오차는 부분결합간섭계에서  $-0.27 \pm 0.60D$ , Auto-K와 초음파계측기방식에서  $-0.24 \pm 0.58D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 방식에서  $-0.30 \pm 0.55D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP에서  $0.38 \pm 1.43D$ 로, 부분결합간섭계, Auto-K와 초음파계측기, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 방식 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP로 계산한 평균예측오차는 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK로 계산한 평균예측오차보다 유의하게 컸다( $p=0.042$ , Wilcoxon rank test). 백내장 수술 후 6개월에 평균예측오차는 부분결합간섭계에서  $0.05 \pm 0.54D$ , Auto-K와 초음파계측기에서  $0.10 \pm 0.52D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK에서  $0.03 \pm 0.49D$ , 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP에서  $0.47 \pm 0.76D$ 였다. 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 방식으로 계산한 값과 Auto-K와 초음파계측기로 계산한 값 사이에 유의한 차이를 보였다( $p=0.046$ , Wilcoxon rank test). 또한 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP로 계산한 평균예측오차는 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK로 계산한 값과 유의한 차이를 보였다( $p=0.039$ ). 절대예측오차가  $0.5D$  이내인 비율은 부분결합간섭계에서 63.2%, 초음파계측기와 Auto-K에서 68.4%, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK에서 78.9%, 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP에서 43.8%로 네 군 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.  $1.0D$  이내인 비율은 부분결합간섭계에서 89.5%, 초음파계측기와 Auto-K에서 94.7%, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 이용한 방식에서 94.7%, 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 이용한 방식에서는 75%로 네 군 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었고, 비교적 수술 후 실제굴절력이 예상굴절력에 근접하였다.

이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 사용하여 5가지



**Figure 7.** MNE according to formula overtime. MNE by SRK-T is lower compared with SRK-2, Holladay or Hoffer-Q formula 1 month after surgery ( $p = 0.006$ ,  $< 0.001$ , and  $0.001$ , respectively, Wilcoxon rank test). MNE by Haigis formula was lower compared with SRK-2, Holladay or Hoffer-Q formula 1 month after surgery ( $p < 0.001$  for all). SRK-2 and Haigis are lower compared with Holladay formula 1 month after surgery ( $p < 0.001$  for both, respectively). MNE by SRK-T is lower compared with SRK-2, Holladay or Hoffer-Q formula 6 month after surgery ( $p = 0.014$ ,  $0.001$ , and  $0.018$ , respectively). MNE by Haigis formula is lower compared with SRK-2, Holladay or Hoffer-Q formula 6 month after surgery ( $p = 0.012$ ,  $< 0.001$  and  $0.001$ , respectively). SRK-2 and Haigis are lower compared with Holladay formula ( $p < 0.001$  and  $0.003$ , respectively). MNE = mean numerical error; SRK-T = Sanders-Retzlaff-Kraff theoretical formula.

인공수정체공식으로 계산하였을 때, 백내장 수술 후 1개월에 SRK-T 공식의 평균예측오차는 SRK-2, Holladay, Hoffer-Q 공식보다 유의하게 낮았다( $p=0.006$ ,  $<0.001$ , and  $0.001$ , respectively, Wilcoxon rank test; Fig. 7). Haigis 공식으로 계산된 평균예측오차는 SRK-2, Holladay, Hoffer-Q 공식보다 유의하게 낮았다( $p<0.001$  for all, Wilcoxon rank test). SRK-2와 Haigis 공식으로 계산한 평균예측오차가 Holladay 공식을 이용한 값보다 낮았다( $p<0.001$  for both, respectively, Wilcoxon rank test).

백내장 수술 후 6개월에 SRK-T로 계산한 평균예측오차는 SRK-2, Holladay, Hoffer-Q 공식으로 이용한 값보다 낮았다( $p=0.014$ ,  $0.001$ , and  $0.018$ , respectively, Wilcoxon rank test). Haigis 공식을 이용한 평균예측오차는 SRK-2, Holladay, Hoffer-Q를 이용한 값보다 낮았다( $p=0.012$ ,  $<0.001$  and  $0.001$ , respectively, Wilcoxon rank test). SRK-2와 Haigis를 이용한 평균예측오차가 Holladay 공식보다 낮았다( $p<0.001$  and  $0.003$ , respectively, Wilcoxon rank test).

## 고찰

정확한 생체계측과 적절한 인공수정체 도수계산공식, 그리고 인공수정체의 질은 백내장 수술 후 굴절력을 예측하는 데 있어 중요하다. 본 연구에서는 이중샤임플러그 전안부분석기를 이용하여 백내장 수술 시 인공수정체도수 계산 결과를 부분결합간섭계, 자동 각막굴절계의 생체계측과 비교하여 조사하였다. 인공수정체 도수계산에 사용되는 생체계측치는 각막굴절력, 안축장, 전방깊이 등이 있다. 정확한 생체계측은 인공수정체 도수결정에 결정적이다. 그중 각막굴절력은 인공수정체 도수계산에 매우 중요한 인자이다. 인공수정체 도수계산 오차의 8%는 각막굴절력 측정의 오차로 인하여 발생한다.<sup>4</sup> 자동각막굴절계는 각막중심에서 지름 3 mm 지점, 90도 간격 4개의 지점에서 각막굴절력을 측정한다. 각막전면의 굴곡을 바탕으로 1.3375라는 각막굴절률(index of refraction)을 이용하여 계산한다.<sup>10</sup> 부분결합간섭계는 각막중심에서 2.3 mm 고리의 6개 지점에서 각막굴절력을 측정한다.<sup>7</sup> 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK는 지름 3.0 mm 지점에서 각막굴절력을 측정하여 1.3375라는 각막굴절률(index of refraction)을 사용하며 본 연구에서 사용된 이중샤임플러그 전안부분석기는 플라시도링 타입의 각막지형도가 추가되어 각막의 전면굴곡과 후면굴곡을 측정할 때 정확성을 증가시킨 것이다.<sup>15</sup> 본 연구에서 각막굴절력은 자동각막굴절계의 Auto-K, 부분결합간섭계의 mean K, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK 사이에 차이를 보이지 않았다.

기존의 각막굴절력 측정 방식은 각막전면과 후면의 굴곡 사이의 비를 고려하여 각막굴절률 상수를 사용하므로 각막굴절수술을 받아 각막전면과 후면의 관계가 변한 경우에는 부정확하여 사용할 수 없다.<sup>9</sup> 이중샤임플러그 전안부분석기의 총각막굴절력은 각막굴절률 상수를 이용하지 않고 각막전면과 후면에서 Snell 법칙을 사용하여 ray tracing 방식으로 측정하는데 굴절률(1.376/1.336), 표면의 기울기, 굴절되는 정확한 지점을 고려하여 산출한다.<sup>9</sup> 기존에 발표된 논문들에 따르면, 총각막굴절력은 Auto-K나 simK보다 0.5-1.17D 정도 낮게 측정되었다고 하였다.<sup>14,16</sup> 본 연구에서는 이중샤임플러그 전안부분석기의 총각막굴절력이 Auto-K나 simK보다 1.3-1.5D 정도 낮게 측정되었는데 이는 기존의 연구결과와 부합하였다.

인공수정체 도수계산 오차의 54%는 안축장 측정의 오차로 인해 발생한다고 알려져 있다.<sup>4</sup> 본 연구에서는 부분결합간섭계와 초음파계측기로 측정한 안축장을 비교하였다. 초음파계측기를 사용하는 방법이 안축장을 측정하는 데 흔히 사용되지만 최근에는 부분결합간섭계 등의 광학적 생체계

측기의 사용이 인기를 얻고 있다. 초음파계측기는 탐침자를 각막에 직접 접촉하고 시축을 벗어나서 안축장을 측정할 수 있기 때문에 안축장 측정의 오차가 생기고 수술 후 원하지 않은 굴절결과가 생길 수 있다.<sup>17</sup> 이론적으로는 고도근시에서 안축장이 길고 공막의 강도가 낮기 때문에 각막이 눌러서 좀 더 짧게 측정될 수 있다.<sup>17</sup> 또한 탐침자의 접촉에 의해 각막미란이나 감염의 가능성이 있다.<sup>18</sup> 부분결합간섭계는 780 nm의 적외선 파장을 사용하여 빠르고 쉽게 안축장을 측정할 수 있다.<sup>19</sup> 이 방법은 환자가 주시점을 응시하도록 함으로써 시축을 따라 안축장을 측정할 수 있다.<sup>7</sup> 또한 비접촉 방식이므로 점안마취제를 사용할 필요가 없고 각막외상 혹은 감염의 위험이 없다.<sup>20</sup> 기존 연구에서 접촉식 초음파계측기에 비해 부분결합간섭계를 사용할 경우 안축장이 더 길게 측정된다고 보고한 바 있다.<sup>3,7</sup> 그러나 본 연구에서는 두 측정기기 사이에 안축장은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 고도로 숙련된 검사자가 시행할 경우 초음파계측기로 측정한 안축장이 부분결합간섭계로 측정한 안축장과 차이를 보이지 않을 수 있다. 또한 본 연구에 포함된 환자들은 정상 안축장을 가졌기 때문에 초음파계측기와 부분결합간섭계로 측정한 안축장의 차이가 적어 통계적 의의가 없었을 수도 있다.

본 연구에서 초음파계측기, 부분결합간섭계, 이중샤임플러그 전안부분석기로 측정한 전방깊이는 서로 통계적인 차이를 보이지 않았다. 샤임플러그 전안부카메라가 부분결합간섭계보다 약 0.1 mm 정도 전방깊이를 깊게 측정하였다는 보고도 있지만, 대부분의 연구에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.<sup>21,22</sup> 전방깊이의 측정 시 0.2 mm 차이가 생기면 인공수정체 도수는 0.1D 차이가 발생한다.<sup>21,22</sup> 대부분의 인공수정체 도수계산에서 실제 전방깊이가 사용되지 않고 예측 전방깊이가 공식에 대입되므로 임상적으로 큰 의미를 가지지는 않으나 실제 전방깊이를 공식에 대입하는 Haigis 등의 인공수정체 도수계산 공식에서는 최종 인공수정체 도수계산에 영향을 미칠 수 있으며 수술 전 전방깊이의 정확한 측정이 평균예측오차를 줄이는 데 중요하다.

각막굴절력을 측정하는 방식과 인공수정체 도수계산공식에 따라 인공수정체의 예상굴절력을 계산하여 서로 비교하였다. 각막굴절력의 측정 방식에 따른 예상굴절력은 각각의 측정 방식으로 측정된 각막굴절력을 SRK-T 공식에 대입하여 계산하였다. 부분결합간섭계의 Mean K를 이용한 예상굴절력은 자동 각막굴절계의 Auto-K와 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 이용한 예상굴절력과 차이를 보이지 않았으나 자동각막굴절계의 Auto-K를 이용한 예상굴절력과 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 이용한 예상굴절력은 차이를 보였다. 본 연구에서 이중샤임플러그 전안부분석기



의 TCP를 이용한 인공수정체 도수계산은 <http://iolcalc.org/> 사이트에서 제공한 방법을 사용하여 SRK-T 공식으로 온라인에서 계산하였다. 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 이용한 예상굴절력은 나머지 방법으로 계산한 예상굴절력에 비해 통계적인 차이를 보였다.

이중샤임플러그 전안부분석기의 simK와 초음파계측기의 안축장을 5가지 인공수정체 도수계산 공식에 대입하여 예상굴절력을 조사하였다. 예상굴절력은 SRK-T 공식과 Haigis 공식으로 계산한 값 사이에 서로 유의한 차이가 없었다. SRK-T 공식의 예상굴절력과 SRK-2, Holladay, Hoffer-Q 공식의 예상굴절력은 서로 차이를 보였으며 Holladay 공식은 다른 모든 공식의 예상굴절력과 유의한 차이를 보였다. Hoffer Q, Holladay 1, SRK-T는 안축장과 중심각막굴절력의 2개의 변수를 사용하여 수술 후 인공수정체의 위치를 예상하여 계산하는 공식이다.<sup>23</sup> 이 공식들에서는 실제 전방깊이를 사용하지 않으며 안축장이 짧은 눈에서는 전방깊이를 얇게 예측하고 안축장이 긴 눈에서는 전방깊이를 깊게 예측하여 계산한다.<sup>24</sup> 또한 가파른 각막을 가진 눈에서는 전방이 깊고 편평한 눈에서는 전방이 얇은 것으로 가정하여 계산한다.<sup>24</sup> 유효렌즈위치(effective lens position)로 알려진 각막에서 렌즈까지의 거리를 계산하는 데 있어 SRK-T 공식은 A 상수를, Holladay 1 공식은 수술자 인자(surgeon factor)를, Holladay 공식은 전방깊이, Hoffer Q 공식은 인공수정체 전방깊이를 사용한다.<sup>24</sup> 최근에 개발된 Haigis 공식은 실제 전방깊이를 변수로 대입하므로 더 정확할 것으로 생각된다.<sup>11</sup> Haigis와 Hoffer Q 공식은 안축장이 짧은 눈에서 가장 좋으며 Haigis, Hoffer Q, Holladay 1, SRK-T 공식은 정상안에서, 그리고 Haigis와 SRK-T 공식은 안축장이 긴 눈에서 가장 좋은 것으로 보고되었다.<sup>24</sup>

백내장 수술 후 굴절검사는 1개월, 3개월, 6개월 사이에 차이가 없었다. 백내장 수술 후 1개월에 계산된 평균예측오차는 부분결합간섭계, 자동 각막굴절계와 초음파계측기, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 사용한 방법 간에 차이가 없었으나 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 사용한 방법은 나머지 방법에 비해 평균예측오차가 통계적으로 더 컸다. 여러 연구에 따르면, 굴절교정수술을 시행 받지 않은 환자에서 총각막굴절력은 Auto-K나 simK보다 낮게 측정되었다.<sup>9,10,14,16</sup> 또한 총각막굴절력을 여러 인공수정체 계산공식에 대입하여 인공수정체 도수를 결정하였을 때 절대예측오차는 기존의 방식과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았는데 이는 인공수정체 계산공식에 사용되는 상수를 조정하였기 때문이라고 하였다.<sup>9,10</sup> 하지만 일반적으로 사용되는 인공수정체 계산공식은 총각막굴절력이 아닌 Auto-K나 simK 값을 기반으로 하며, 총각막굴절력은 기존

의 각막굴절력보다 1D 이상 작게 측정된다고 알려져 있기 때문에 총각막굴절력을 인공수정체 계산공식에 대입하여 일반적으로 사용할 수 없다고 보고되어 있다.<sup>14</sup> 현재까지 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 사용하는 정확한 인공수정체 계산공식이 개발되어 있지 않고 본 연구에서 총각막굴절력은 Auto-K나 simK보다 1D 이상 작게 측정되어 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 인공수정체 계산공식이 아닌 <http://iolcalc.org/> 사이트에서 제공하는 인공수정체 계산공식을 사용해 보고자 하였다. 그러나 이 공식은 굴절교정수술을 시행 받지 않은 환자에게 사용할 경우 제한점이 있기 때문에 본 연구에서 예측오차가 더 크게 발생한 것으로 생각된다. 0.5D 미만의 절대예측오차를 보이는 대상자의 비율은 부분결합간섭계, 자동 각막굴절계와 초음파계측기, 이중샤임플러그 전안부분석기에서 각각 90%, 85%, 80%로 부분결합간섭계의 비율이 가장 높았으나 세 군 사이에 통계적인 차이는 없었고 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 사용하는 방법이 나머지 방법에 비해 유의하게 0.5D 미만의 절대예측오차를 보이는 대상자의 비율이 유의하게 낮았다. 백내장 수술 후 3개월에 평균실제오차는 부분결합간섭계, 자동 각막굴절계와 초음파계측기, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 사용한 방법 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP로 계산한 평균예측오차는 simK를 이용하여 계산한 평균예측오차보다 유의하게 컸다. 백내장 수술 후 6개월에 각막굴절력을 측정하는 방법에 따라 평균예측오차는 부분결합간섭계, 자동 각막굴절계와 초음파계측기, 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 사용한 방법 사이에 차이가 없었으나 이중샤임플러그 전안부분석기의 TCP를 사용하는 방법은 나머지 방법에 비해 평균예측오차가 통계적으로 더 컸다. 0.5D 미만의 절대예측오차를 보이는 대상자의 비율은 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 사용한 방법에서 가장 높았으며 TCP를 사용한 방법에서 비율이 낮았으나 통계적으로 유의하지는 않았다. Savini et al<sup>12</sup>은 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK와 TCP로 각막굴절력을 정하고 초음파계측기의 안축장을 Hoffer Q 공식에 대입하였을 때 simK를 대입한 군에서 평균절대오차가 더 적다고 보고하였다. 본 연구에서는 SRK-T 공식을 이용하여 각막굴절력 측정방법에 따른 평균예측오차를 비교하였다. 정상 각막을 가진 백내장 환자에서 인공수정체 도수계산을 할 경우 기존의 1.3375라는 각막굴절률 상수를 사용하여 계산된 simK를 사용하는 것이 더 정확할 것으로 생각된다.<sup>9</sup> 또한 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK와 초음파계측기의 안축장을 5가지 인공수정체공식에 대입하였을 때 백내장 수술 후 1개월과 6개월에 SRK-T 공

식의 평균예측오차가 가장 작았다. 백내장 수술에서 수술 전 난시가 있는 경우 술전 난시를 교정하거나 백내장 수술 후 유발될 수 있는 난시(Surgically induced astigmatism, SIA)를 최소화시키기 위해 절개위치, 수, 크기에 변화를 주는 방법들이 모색되어 있다.<sup>25</sup> 그중 최근 백내장 수술 시 이 측 투명각막절개가 흔히 이용되는데, 절개창이 시축으로부터 더 멀리 떨어져 있어 난시 유발이 적고 백내장 환자들이 대부분 도난시임을 고려해 볼 때 술 전 도난시의 감소를 기대할 수 있다.<sup>25</sup> 하지만 본 연구에서는 직난시 19명, 도난시 21명을 대상으로 모두 상측 투명각막절개를 시행하였다. 수술 전과 백내장 수술 후 1개월에 측정한 각막난시의 변화량은  $-0.05 \pm 0.45D$ 로 각막절개가 수술 전후의 평균 난시 변화에 큰 영향을 주지는 않았지만, 일부 환자에서는 1.0D의 변화를 유발하였다. 따라서 이러한 점이 검사기 및 도수계산공식의 정확성에 대해 일반적인 결론을 도출하는 데 있어 제한점으로 작용할 것으로 생각된다. 또한 본 연구에는 기존에 각막수술을 받지 않은 정상각막을 가진 사람을 대상으로 하였으며 향후 각막굴절교정 수술을 받은 환자에서의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 백내장 수술 후 6개월에 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 이용한 인공수정체 도수계산이 가장 정확하였으며 인공수정체 도수계산공식은 SRK-T가 가장 정확하였다. 따라서 정상각막 환자에서 초음파계측기의 안축장과 이중샤임플러그 전안부분석기의 simK를 SRK-T 공식에 사용할 경우 예측굴절력 오차가 작아 백내장 수술 시 유용할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- 1) Wang JK, Hu CY, Chang SW. Intraocular lens power calculation using the IOLMaster and various formulas in eyes with long axial length. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:262-7.
- 2) Preussner PR, Olsen T, Hoffmann P, Findl O. Intraocular lens calculation accuracy limits in normal eyes. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:802-8.
- 3) 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.
- 4) Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 1992;18:125-9.
- 5) Lam AK, Chan R, Pang PC. The repeatability and accuracy of axial length and anterior chamber depth measurements from the IOLMaster. *Ophthalmic Physiol Opt* 2001;21:477-83.
- 6) Findl O, Drexler W, Menapace R, et al. High precision biometry of pseudophakic eyes using partial coherence interferometry. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:1087-93.
- 7) 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.
- 8) Holladay JT. Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. *J Cataract Refract Surg* 1997;23:1356-70.
- 9) Saad E, Shammas MC, Shammas HJ. Scheimpflug corneal power measurements for intraocular lens power calculation in cataract surgery. *Am J Ophthalmol* 2013;156:460-7.e2.
- 10) Savini G, Barboni P, Carbonelli M, Hoffer KJ. Comparison of methods to measure corneal power for intraocular lens power calculation using a rotating Scheimpflug camera. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:598-604.
- 11) Saiki M, Negishi K, Kato N, et al. Ray tracing software for intraocular lens power calculation after corneal excimer laser surgery. *Jpn J Ophthalmol* 2014;58:276-81.
- 12) Savini G, Barboni P, Carbonelli M, Hoffer KJ. Accuracy of Scheimpflug corneal power measurements for intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1193-7.
- 13) Minami K, Kataoka Y, Matsunaga J, et al. Ray-tracing intraocular lens power calculation using anterior segment optical coherence tomography measurements. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1758-63.
- 14) Shammas HJ, Hoffer KJ, Shammas MC. Scheimpflug photography keratometry readings for routine intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:330-4.
- 15) Savini G, Barboni P, Carbonelli M, Hoffer KJ. Accuracy of a dual Scheimpflug analyzer and a corneal topography system for intraocular lens power calculation in unoperated eyes. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:72-6.
- 16) Shirayama M, Wang L, Koch DD, Weikert MP. Comparison of accuracy of intraocular lens calculations using automated keratometry, a Placido-based corneal topographer, and a combined Placido-based and dual Scheimpflug corneal topographer. *Cornea* 2010;29:1136-8.
- 17) Zaldivar R, Shultz MC, Davidorf JM, Holladay JT. Intraocular lens power calculations in patients with extreme myopia. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:668-74.
- 18) Findl O. Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol* 2005;16:61-4.
- 19) Rose LT, Moshegov CN. Comparison of the Zeiss IOLMaster and applanation A-scan ultrasound: biometry for intraocular lens calculation. *Clin Experiment Ophthalmol* 2003;31:121-4.
- 20) Németh J, Fekete O, Pesztenlehrer N. Optical and ultrasound measurement of axial length and anterior chamber depth for intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:85-8.
- 21) Utine CA, Altin F, Cakir H, Perente I. Comparison of anterior chamber depth measurements taken with the Pentacam, Orbscan IIz and IOLMaster in myopic and emmetropic eyes. *Acta Ophthalmol* 2009;87:386-91.
- 22) Reddy AR, Pande MV, Finn P, El-Gogary H. Comparative estimation of anterior chamber depth by ultrasonography, Orbscan II, and IOLMaster. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1268-71.
- 23) Jonna G, Channa P. Updated practical intraocular lens power calculation after refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2013;24:275-80.
- 24) Lee AC, Qazi MA, Pepose JS. Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol* 2008;19:13-7.
- 25) Na JK, Kim MS. The comparison of astigmatic outcomes after cataract surgery of inferior versus superior clear corneal incision. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:1470-5.

---

= 국문초록 =

## 이중샤임플러그 전안부분석기를 이용한 백내장 수술 시 인공수정체 도수 계산

**목적:** 백내장 수술 환자에서 이중샤임플러그 전안부분석기(dual Scheimpflug analyzer, DSA; Galilei G2)로 측정한 생체계측값과 예측굴절력을 기존 방식과 비교하고 DSA의 simulated keratometry (simK)를 이용한 인공수정체 계산공식들의 예측오차를 알아보고자 하였다.

**대상과 방법:** 백내장 환자 총 39명을 대상으로 초음파계측기, 자동각막굴절계, 부분결합간섭계(IOL master<sup>®</sup>), DSA로 생체계측을 하였다. 수술 전 자동각막굴절계의 auto-keratometry (Auto-K), 부분결합간섭계의 mean K, DSA의 simK와 총각막굴절력(total corneal power, TCP)을 측정하고 4가지 각막굴절값을 이용하여 예상굴절력을 계산하였다. 또한 DSA의 simK를 Sanders-Retzlaff-Kraff (SRK)-II, SRK-T, Holladay II, Haigis, Hoffer-Q 공식에 대입하여 얻은 예상굴절력을 비교하였다. 수술 후 1, 3, 6개월에 측정한 구면 렌즈대응치와 예상굴절력의 차이를 평균예측오차로, 그 절대값을 절대예측오차로 정의하여 그 값을 비교하였다.

**결과:** DSA의 TCP는 simK, mean K, Auto-K에 비해 유의하게 낮았다( $p < 0.05$ ). 수술 후 1개월에 평균예측오차는 simK, mean K와 Auto-K 사이에 차이가 없었고, TCP를 사용한 경우에는 다른 각막굴절력을 사용한 경우보다 평균예측오차가 컸다( $p < 0.05$ ). 수술 후 6개월에 simK와 TCP를 사용하여 계산된 평균예측오차는 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). DSA의 simK를 5가지 인공수정체 계산 공식에 대입하여 계산된 평균예측오차는 SRK-T 공식에서 가장 작았다.

**결론:** 정상각막을 가진 백내장 환자에서 인공수정체 도수 계산 시, DSA의 TCP보다 simK와 SRK-T 공식을 사용하는 것이 유용할 것으로 생각된다.

〈대한안과학회지 2016;57(3):369-379〉

---