

인공수정체 도수공식 정확성 비교: SRK/T, Barrett Universal II, T2

Comparison of Three Formulas for Intraocular Lens Power Formula Accuracy

이기웅 · 김진수 · 김동현

Ki Woong Lee, MD, Jinsoo Kim, MD, Dong Hyun Kim, MD, PhD

가천대학교 의과대학 길병원 안과학교실

Department of Ophthalmology, Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine, Incheon, Korea

Purpose: To compare the accuracy of three intraocular lens (IOL) power calculation formulas (SRK/T, Barrett Universal II, and T2) in cataract surgery patients.

Methods: In total, 73 eyes of 73 patients who underwent uneventful cataract surgery were retrospectively reviewed. IOL power was determined using SRK/T, Barrett Universal II, and T2 preoperatively. The findings were compared with the actual refractive outcome to obtain the prediction error. The mean prediction error (ME) and mean absolute error (MAE) of each formula were compared. The MAE was defined as the difference between the postoperative spherical equivalence (SE) and the preoperatively predicted SE. The ME and MAE of each formula 3 months after surgery were compared with preoperatively predicted SE. Eyes were classified into subgroups based on axial length (AL) and average keratometry (K).

Results: The ME and MAE for the three formulas were SRK/T [-0.08 ± 0.45 diopters (D) and 0.35 ± 0.40 D, respectively], Barrett Universal II (-0.01 ± 0.44 D and 0.33 ± 0.30 D, respectively), and T2 (0.04 ± 0.45 D and -0.34 ± 0.30 D, respectively), but no statistically significant differences were detected. Similar results were obtained in groups with a long AL or a large average K. In groups with an AL ≥ 26 mm or with an average K ≥ 47 D, the Barrett Universal II formula yielded the smallest standard deviation and a ME closest to zero, but these differences were not statistically significant.

Conclusions: No significant differences were observed between the three formulas regarding ME or MAE. However, recent formulas such as the Barrett Universal II could provide certain benefits in predicting IOL power for patients with a long AL (> 26 mm) or larger average K. Further research with a larger sample size is recommended for more evaluation.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(1):27-33

Keywords: SRK/T, Barrett Universal II, T2, IOL power accuracy, Prediction error

최근의 백내장수술은 단순히 수정체 혼탁의 제거보다는 좋은 시력을 위한 굴절수술로 받아들여지고 있다. 그만큼

수술 후 시력개선에 대한 환자들의 기대치도 점점 높아지면서 백내장수술에서 정확한 수술 후 굴절력의 예측이 점점 더 중요해지고 있다.¹⁻³ 수술 후 굴절력 예측 발전에 영향을 준 것은 크게 세 가지로 1) 작은 절개창과 전낭절개 (continuous curvilinear capsulorhexis) 방법을 통한 인공수정체의 낭내 삽입술의 발전, 2) 생체 계측방식의 발달, 3) 인공수정체 도수 계산공식의 발전이 있다.³ 특히, 수술 전 생체계측방식이 발달되면서 높은 정확성을 가진 다양한 생체계측치의 활용이 가능해졌고, 그에 따라 여러 계측 변수의 입력을 통한 인공수정체 계산공식의 예측도는 더욱 정확해지고 있다.⁴⁻⁶ 예를 들어, 널리 사용되고 있는 3세대 공

- Received: 2019. 5. 16. ■ Revised: 2019. 5. 28.
- Accepted: 2019. 12. 30.
- Address reprint requests to **Dong Hyun Kim, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Gil Medical Center, #21
Namdong-daero 774beon-gil, Namdong-gu, Incheon 21565,
Korea
Tel: 82-32-440-3364, Fax: 82-32-460-3009
E-mail: amidfree@gilhospital.com

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

© 2020 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.

식인 SRK/T는 안축장과 각막곡률 두 가지 변수를 사용하지만, 최근 여러 연구에서 Ray tracing에 기초하여 인공수정체에서의 principal plane의 변화를 공식에 반영한 Barrett Universal II와 회귀(regression) 공식인 SRK/T의 안축장 및 각막곡률 변화에 따라 발생하는 비생리학적인 오류를 수정한 T2 등의 공식이 기존 3-4 세대 공식 대비 우수한 인공수정체 도수 예측도를 보여주었다.⁷⁻⁹ 그러나 아직까지 국내에서 이러한 최신 공식들을 포함한 인공수정체 도수 예측에 대한 비교 연구가 없었다. 따라서 본 연구에서는 Barrett Universal II, T2를 포함하여, 인공수정체 도수 공식 3가지 (SRK/T, Barrett Universal II, T2)에 대해 정확성을 비교해 보고자 하였다.

대상과 방법

본원 임상연구심의위원회의 승인하에(승인 번호: GBIRB2019-132) 2016년 1월부터 2018년 7월까지 본원 안과에서 백내장수술을 받은 환자 73명, 73안을 대상으로 진료기록을 후향적으로 조사하였다. 이전에 시력교정술 등 각막굴절력에 영향을 줄 수 있는 시술을 받았거나 수술 전 안과적인 외상력, 안과 질환의 기왕력이 있는 환자들은 모두 연구 대상에서 제외하였다. 후방혼탁, 심한 백내장, 환자가 주시를 못하는 등의 이유로 IOL Master[®] 500 (Carl Zeiss, Jena, Germany)로 측정이 불가능하였던 경우도 본 연구에서 제외하였으며, 또한 수술 중 후방 파열이나 유리체 탈출 등의 합병증이 발생하여 인공수정체를 낭내에 넣지 않은 경우도 인공수정체 도수 예측 분석에 혼란을 줄 수 있어 본 연구에서 제외하였다. 수술 전 인공수정체 굴절치를 예측하기 위하여, IOL Master[®] 500으로 안축장, 각막곡률, 전방 깊이를 측정하였다. IOL Master[®] 500으로 측정된 생체측정치를 인공수정체 도수 공식인 SRK/T, Barrett Universal II, T2에 대입하여 삽입할 인공수정체 도수를 결정하였다. 본 연구에선 Barrett Universal II 공식에서 각막윤부직경(white to white diameter)은 인공수정체 도수 예측에 있어 사용하였지만, 수정체두께는 사용하지 않았다. 모든 백내장수술은 테논낭하 마취 후 단일 술자(D.H.K.)에 의하여 상측 또는 이측 투명 각막 절개(2.4 mm)로 백내장 초음파유화술을 시행하고, 인공수정체를 낭내에 삽입하였다. 수술 절개창은 10-0 Nylon으로 단일 봉합한 후 수술 후 일주일째에 봉합사를 제거하였다. 인공수정체는 일체형 비구면 인공수정체인 Tecnis ZCB00 (Abott Medical Optics Inc., Albuquerque, NM, USA) 인공수정체를 사용하였다. 인공수정체 A상수는 모든 공식에서 동일하게 IOL Master[®] 기계에 특화된 값을 이용하였는데 Tecnis ZCB00 (A-constant: 119.3, Precision

Lens, Bloomington, MN, USA)을 사용하였다. Barrett Universal II 공식 적용 시에는 A-constant를 프로그램 권고에 따라 119.26으로 사용하였다.

목표 굴절력은 IOL Master[®]로 계산한 SRK/T, Barrett Universal II 그리고 T2공식의 예측치를 기준으로 0 to -0.5 diopters (D) 사이의 값으로 정하였고, 환자가 원하는 경우에는 반대안의 굴절력을 고려하여 정하거나 근시 쪽으로 목표 도수를 정하였고, 수술 후 1, 3개월째 현성 굴절검사를 실시하여 구면 대응치(spherical equivalent)를 계산하였다. 예측오차(prediction error)는 수술 후 현성 굴절검사를 통해 계산된 “구면대응치-수술 전 각 공식들의 목표 굴절력”으로 정의하였고, 예측오차를 비교할 때 양의 오차와 음의 오차값의 상쇄되는 문제를 막기 위하여 예측오차의 절대값을 취하여 절대오차(absolute error)값으로 환산하였다.^{10,11} 수술 후 1, 3개월째 세 공식 간 평균 예측오차(mean prediction error, ME) 및 평균 절대오차(mean absolute error, MAE)를 비교하였다. 또한 안축장과 각막곡률 정도에 따른 각 공식들의 예측오차를 비교하기 위하여 IOL Master[®] 500를 이용하여 구해진 생체측정치를 기준으로 안축장이 25 mm 이상인 군과 미만인 군, K값이 46D 이상인 군과 미만인 군에 대해 따로 구분하여, 각 공식들 간의 평균 예측오차와 평균 절대오차를 비교하였다. 또한, 안축장 길이, 각막곡률의 변화에 따른 수술 후 3개월째 각 공식에서의 예측오차의 변화를 탐색해 보았다. 통계 소프트웨어는 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 각 공식 간의 예측오차와 평균 절대오차 값의 비교는 one-way analysis of variance (one-way ANOVA) 또는 Kruskal-Wallis test를 이용하였고, 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 로 정의하였다.

결 과

대상 인원은 73명 73안으로 남자가 27명(37%), 여자가 46명(63%)이었으며 평균 나이는 68.6 ± 12.2 세였다. 술 전 평균 각막곡률은 44.40 ± 1.40 D, 평균 안축장의 길이는 23.40 ± 1.43 mm, 평균 전방깊이는 2.99 ± 0.44 mm였다. 수술 1개월 후, 3개월 후의 구면대응치(spherical equivalent)는 각각 -0.52 ± 0.64 D, -0.44 ± 0.68 D였다(Table 1).

수술 1개월 후 SRK/T, Barrett Universal II, T2 공식에서 평균 예측오차는 각각 0.07 ± 0.53 D, 0.06 ± 0.48 D, 0.12 ± 0.52 D였으며, 평균 절대오차는 각각 0.35 ± 0.40 D, 0.38 ± 0.28 D, 0.40 ± 0.34 D였다. 수술 3개월 후 SRK/T, Barrett Universal II, T2 공식에서 평균 예측오차는 각각 -0.08 ± 0.45 D, -0.01 ± 0.44 D, 0.04 ± 0.45 D였으며, 평균 절대오차는 각각 0.33 ± 0.32 D, 0.33 ± 0.30 D, 0.34 ± 0.30 D였다. 수

술 1, 3개월째 세 공식 간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(각 $p > 0.05$, Table 2). 수술 후 3개월째 절대오차가 0.5D 이하인 경우는 Barrett Universal II가 73안 중 57안(78.0%)으로 가장 많았고, SRK/T는 53안(72.6%), T2는 52안(71.2%)이었다. 절대오차가 1D 이상인 경우는 SRK/T, T2, Barrett Universal II 각각 3안(4%)이 있었다(Fig. 1).

평균 각막곡률이 46D 이상으로 큰 13안에 대해서, 수술 후 1개월째 각 공식 간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 각각 SRK/T에서 $0.01 \pm 0.54D$, $0.38 \pm 0.37D$, Barrett Universal II에서 $0.05 \pm 0.64D$, $0.39 \pm 0.37D$, T2에서 $0.04 \pm 0.55D$, $0.43 \pm 0.48D$ 였으며, 세 군 간 유의한 차이는 보이지 않았다($p=0.808/841$, Kruskal-Wallis test, Table 3) 수술 후 3개월째 역시 각 군 간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.899/0.850$, Kruskal-Wallis test, Table 3). 평균 각막곡률이 46D 미만이었던 60안에 대해서, 수술 후 1개월째 각 공식 간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 SRK/T에서 $0.10 \pm 0.54D$, $0.35 \pm 0.42D$, Barrett Universal II에서 $0.07 \pm 0.47D$, $0.37 \pm 0.25D$, T2에서 $0.14 \pm 0.49D$, $0.39 \pm 0.29D$ 였으며, 세 군 간 유의한 차이는 보이지 않았다($p=0.736/852$, one-way ANOVA, Table 3). 수술 후 3개월째 역시 각 군 간 평균 예측오차와 평균 절대

오차는 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.216/0.981$, one-way ANOVA, Table 3).

안축장이 25 mm 이상인 7안에 대해서, 수술 후 1개월째 각 공식간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 각각 SRK/T에서 $0.21 \pm 0.22D$, $0.40 \pm 0.20D$, Barrett Universal II에서 $0.05 \pm 0.44D$, $0.25 \pm 0.19D$, T2에서 $0.04 \pm 0.38D$, $0.31 \pm 0.18D$ 였으며, 세 군 간 유의한 차이는 보이지 않았다 ($p=0.793/279$, Kruskal-Wallis test, Table 4). 수술 후 3개월째 역시 각 군 간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.660/0.966$, Kruskal-Wallis test, Table 4). 안축장이 25 mm 미만인 66안에 대해서, 수술 후 1개월째 각 공식 간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 SRK/T에서 $0.04 \pm 0.49D$, $0.34 \pm 0.35D$, Barrett Universal II에서 $0.05 \pm 0.48D$, $0.38 \pm 0.29D$, T2에서 $0.13 \pm 0.51D$, $0.40 \pm 0.35D$ 였으며, 세 군 간 유의한 차이는 보이지 않았다($p=0.529/563$, one-way ANOVA, Table 4). 수술 후 3개월째 역시 각 군 간 평균 예측오차와 평균 절대오차는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p=0.447/0.973$, one-way ANOVA, Table 4).

Table 1. Demographic and biometric parameters

Parameter	Value
Sex (M/F)	27/46
Mean age (years)	68.6 ± 12.2
Kavg (diopters)	44.40 ± 1.40
AL (mm)	23.40 ± 1.43
ACD (mm)	2.99 ± 0.44
Postoperative SE (diopters, months)	
1	-0.52 ± 0.64
3	-0.44 ± 0.68

Values are presented as mean \pm standard deviation or number. Minus (-) value in the angle of deviation means myopia. M/F = male/female; K_{avg} = average keratometry value; AL = axial length; ACD = anterior chamber depth; SE = spherical equivalent.

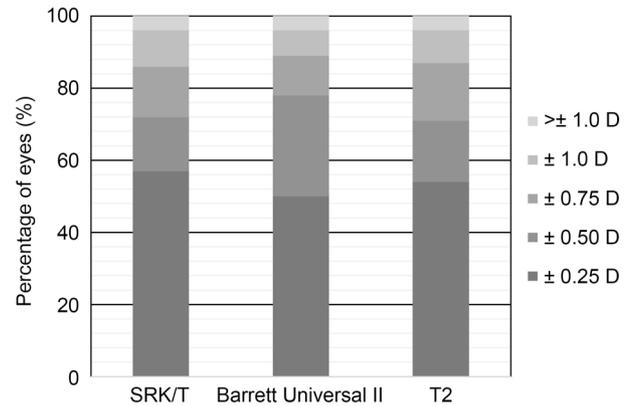


Figure 1. The Percentage of eyes of over the entire axial length range with a prediction error between $\pm 0.25 D$, $\pm 0.50 D$, $\pm 0.75 D$ and $\pm 1.00 D$ for each of the 3 formulas. All three formulas showed similar tendency regarding prediction error even though the differences were not statistically significant. D = diopters.

Table 2. Comparison between SRK/T, Barrett Universal II, and T2 formulas in mean prediction error and mean absolute error

	Postoperative (month)	SRK/T	Barrett Universal II	T2	p-value*
ME (D)	1 month	0.07 ± 0.53	0.06 ± 0.48	0.12 ± 0.52	0.701
	3 months	-0.08 ± 0.45	-0.01 ± 0.44	0.04 ± 0.45	0.223
MAE (D)	1 month	0.35 ± 0.40	0.38 ± 0.28	0.40 ± 0.34	0.640
	3 months	0.33 ± 0.32	0.33 ± 0.30	0.34 ± 0.30	0.968

Values are presented as mean \pm standard deviation.

ME = mean prediction error; D = diopters; MAE = mean absolute prediction error.

*One-way analysis of variance.

Fig. 2는 안축장 길이, 각막곡률의 변화에 따른 수술 후 3개월째 각 공식에서의 평균 예측오차의 변화를 탐색한 결과이다. 세 공식 간 통계적인 유의성은 없었지만, 전반적으로 Barrett Universal II에서 평균 예측오차의 변동이 다른 공식들에 비해 상대적으로 적었고, 특히 K값이 47D 이상이거나, AL가 26 mm 이상인 경우 통계적으로 유의하지는 않았으나, 다른 공식들에 비해 평균 예측오차가 0에 가장 가까웠고 및 표준편차가 가장 적었다(AL≥26 mm: Barrett Universal II [-0.07 ± 0.35D], T2 [-0.17 ± 0.60D], SRK/T [0.16 ± 0.61D], K≥47D: Barrett Universal II [-0.08 ± 0.29D], T2 [-0.16 ± 0.60D], SRK/T [-0.25 ± 0.39D], 각 $p>0.05$).

고 찰

현재 인공수정체 도수 공식의 정확성 비교에 있어서 중

요한 점은 각 공식들의 예측 정확성이 술 전 생체 계측 중 중요한 두 가지 인자인 안축장의 길이와 각막굴절력에 따라 달라진다는 점이다.^{12,13} 예를 들어, 안축장이 짧은 환자들에게 Hoffer Q 공식이 가장 정확하다는 보고는 Hoffer¹⁴가 1993년에 Hoffer Q 공식을 다른 1세대 및 2세대 공식들과 비교한 이후로 여러 연구에 의해 확인되었고 실제 임상에서도 널리 활용되고 있다.^{15,16} 반면, 인공수정체의 도수를 결정하는 데에 있어 중요한 또 다른 한 가지 요인인 각막굴절력에 대한 연구는 안축장의 길이에 따른 연구처럼 활발히 이루어지지 않았다. Shin et al¹²는 짧은 안축장을 가진 환자에서 각 공식이 예측한 인공수정체 도수와 각막굴절력의 상관관계를 분석한 결과 각막굴절력이 낮을수록 공식간 계산된 도수의 차이는 커졌고, Hoffer Q 공식이 가장 높은 인공수정체의 도수를 예측하였다는 보고를 하였다. 최근에는 안축장의 길이와 각막굴절력 뿐만 아니라 수술 전 측정된 환자의 전방깊이가 술 후 도수에 영향을 미친다는 연구

Table 3. Comparison between SRK/T, Barrett Universal II, and T2 formulas in mean prediction error and mean absolute error according to keratometry value ($K_{avg} \geq 46$ D or < 46 D)

Formula	Time after surgery	SRK/T	Barrett Universal II	T2	p-value
$K_{avg} \geq 46$ D (n = 13)					
ME (D)	1 month	0.01 ± 0.54	0.05 ± 0.64	0.04 ± 0.55	0.808*
	3 months	-0.13 ± 0.43	-0.10 ± 0.43	-0.05 ± 0.49	0.899*
MAE (D)	1 month	0.38 ± 0.37	0.39 ± 0.37	0.43 ± 0.48	0.841*
	3 months	0.32 ± 0.31	0.33 ± 0.28	0.37 ± 0.31	0.850*
$K_{avg} < 46$ D (n = 60)					
ME (D)	1 month	0.10 ± 0.54	0.07 ± 0.47	0.14 ± 0.49	0.736†
	3 months	-0.07 ± 0.47	0.01 ± 0.45	0.07 ± 0.45	0.216†
MAE (D)	1 month	0.35 ± 0.42	0.37 ± 0.25	0.39 ± 0.29	0.852†
	3 months	0.34 ± 0.32	0.33 ± 0.31	0.36 ± 0.51	0.981†

Values are presented as mean ± standard deviation.

D = diopters; ME = mean prediction error; MAE = mean absolute prediction error.

*Kruskal-Wallis test; †one-way analysis of variance.

Table 4. Comparison between SRK/T, Barrett Universal II, and T2 formulas in mean prediction error and mean absolute error according to keratometry value ($AL \geq 25$ mm or < 25 mm)

Formula	Time after surgery	SRK/T	Barrett Universal II	T2	p-value
$AL \geq 25$ mm (n = 7)					
ME (D)	1 month	0.21 ± 0.22	0.05 ± 0.44	0.04 ± 0.38	0.793*
	3 months	-0.13 ± 0.64	0.12 ± 0.60	0.13 ± 0.61	0.660*
MAE (D)	1 month	0.40 ± 0.20	0.25 ± 0.19	0.31 ± 0.18	0.279*
	3 months	0.31 ± 0.23	0.26 ± 0.14	0.29 ± 0.14	0.966*
$AL < 25$ mm (n = 65)					
ME (D)	1 month	0.04 ± 0.49	0.05 ± 0.48	0.13 ± 0.51	0.529†
	3 months	-0.06 ± 0.41	-0.05 ± 0.40	0.02 ± 0.41	0.447†
MAE (D)	1 month	0.34 ± 0.35	0.38 ± 0.29	0.40 ± 0.35	0.563†
	3 months	0.30 ± 0.28	0.30 ± 0.26	0.31 ± 0.27	0.973†

Values are presented as mean ± standard deviation.

AL = axial length; ME = mean prediction error; MAE = mean absolute prediction error.

*Kruskal-Wallis test; †one-way analysis of variance.

들도 있으며 Maeng et al¹³은 안축장이 짧고 전방 깊이가 얇은 경우 굴절오차가 커졌다고 보고했다.

정확한 생체계측기술의 발달과 함께 인공수정체 도수를 계산하는 공식도 이전보다 훨씬 더 정확해지고 있다.¹⁷ 저자들은 공식의 발전에 따른 정확성의 향상을 알아보기 위해 기존의 3세대 공식인 SRK/T와 최신의 Barrett Universal II, T2를 함께 비교하였다. Barrett Universal II의 경우 이전 공식들과 다르게 안축장의 길이, 각막곡률, 전방깊이, 수정체두께, 각막윤부직경을 계산공식에 대입함으로써 인종 간 눈 모양의 차이에 최소한의 영향을 받도록 공식을 발표하였으며, 최근 연구들에서 높은 정확도를 보이는 연구 결과들이 보고되고 있다. T2 공식은 SRK/T 공식에서 IOL 값을 예측함에 있어 각막곡률과 안축장의 길이를 나타낼 때 발생하는 비생리학적인 오류를 개선하고자 개발되었다. 이는 환자들의 각막 높이를 측정된 데이터에 회귀공식을 도입하여, 이전 SRK/T 공식에서 발생하였던 비생리학적인 각막 높이(estimated corneal height) 값을 수정하였다. 이처럼 비생리학적인 각막 높이를 수정한 T2 공식은 IOL power 공식의 정확성이 SRK/T에 비하여 9.7% 상승하는 결과를 가져왔다.⁹ T2는 Sheard et al⁹의 연구 이후 다른 IOL 공식과 비교된 연구가 없었으나, Kane et al⁸은 SRK/T와 비교했을 때 대부분의 안축장의 길이에서 T2 공식이 통계학적으로 유의하게 더 정확한 예측치를 보였으며, 예외적으로 안축장의 길이가 긴(26 mm) 그룹에선 T2가 오히려 SRK/T보다

부정확한 것으로 나타났다.⁸

Kane et al⁸은 모든 안축장의 길이에서 Barrett Universal II를 다른 6가지 공식과 비교한 첫 대형 연구로, Barrett Universal II가 가장 우수한 정확성을 보인다고 보고하였다. 특히나 안축장의 길이가 22.5-24.0 mm인 그룹에서 Barrett Universal II는 나머지 공식들과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. Melles et al⁷도 Barrett Universal II가 수술 후 가장 적은 예측오차를 보여주었다고 보고하였다. 특히 23 mm 보다 짧은 안축장의 길이를 가진 눈에서 Barrett Universal II가 가장 작은 표준편차와 평균절대오차를 보였는데, 이는 이전의 연구들에서 안축장의 길이가 22 mm 미만인 경우 지금까지 Hoffer Q와 Holladay 2 공식이 가장 높은 정확도로 알려져 있었으나, Barrett Universal II 또한 높은 정확도를 보여주었다는 데에 의의가 있으며, 다른 연구에서도 같은 결과를 보였다.¹⁸

본 연구에서 평균 예측오차와 평균 절대오차가 모두 수술 후 1, 3개월째, SRK/T, Barrett Universal II, T2 공식 간에 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 평균 절대오차가 0.5D 이내로 예측한 비율은 Barrett Universal II에서 78%로 가장 높았으며, T2에서 71%로 가장 낮았다. 1.0D 이상 예측도수가 차이 나는 경우는 모든 공식에서 4%로 같았다. 하지만 이는 넓은 범위의 생체 계측치를 모두 합쳐 놓은 환자군에서 생체 계측치에 대한 보정을 하지 않은 결과이므로, 본 연구의 특성상 표준치에서 벗어난 각막곡률의 영향

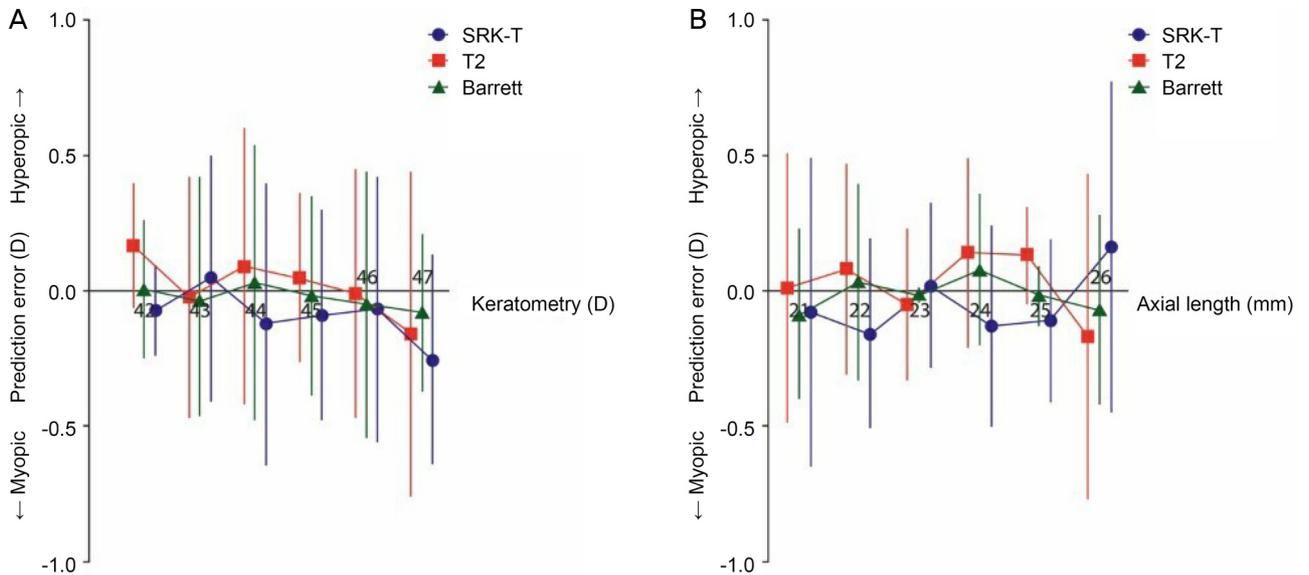


Figure 2. Mean error values three month after surgery shown for different keratometry values for three formulas. (A) Barrett Universal II showing smallest standard deviation and mean prediction error (ME) closest to zero in keratometry 47 diopters (D). (B) Mean error values three months after surgery shown for different axial lengths for three formulas. Barrett Universal II showing smallest standard deviation and ME closest to zero in axial lengths 26 mm.

을 분석하기 위해 각막곡률이 편평하거나 가파른 환자군 또는 안축장이 짧거나 긴 환자군에 대한 분석이 추가적으로 필요하다고 저자들은 판단하였다. 이에 우리는 각막곡률과 안축장의 길이가 정상 범위를 벗어나는 경우($K \geq 46D$, $AL \geq 25$ mm)에 대해서 살펴보고 그 결과, 안축장이 25 mm 이상으로 길거나, 각막곡률이 46D 이상인 경우에도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

이 연구에서는 수술 후 인공수정체 도수 정확성에 있어서 세 공식 간 유의한 차이는 보이지 않았지만, K값이 47D 이상이거나, AL가 26 mm 이상인 경우, Barrett Universal II 공식이 다른 공식들에 비해 평균 예측오차의 평균이 0에 가장 가까웠고, 표준편차가 적었다는 사실은 주목할 필요가 있다. 보통 정상 안구 계측치를 벗어나는 눈에서 수술 후 refractive surprise라고 불리는 큰 예측오차가 발생하는 경우가 많은데, 이러한 경우 Barrett Universal II 공식이 refractive surprise를 줄이는 데에 기여를 할 수도 있을 것이라고 사료된다. 본 연구에서는 다른 해외 연구들에 비해 대상자 수가 많지 않아 통계적인 유의성이 별로 나타났지 않았다고 생각하며, 대상 안을 많이 늘린다면 Barrett Universal II 공식의 예측 정확성이 좀 더 두드러질 수 있을 것이라 추측해 볼 수 있겠다. SRK-T 공식은 전방깊이와 안축장이 비례한다는 이론을 바탕으로 하고 있고, Hoffer¹⁴의 보고대로 안축장의 길이에 따라 전방깊이가 달라진다면 평균치를 벗어나는 안축장을 가진 환자들에서는 술 전 전방깊이를 잘못 예측한 것이 오차에 대한 원인이라고 생각해 볼 수 있다.¹⁹ 또한 T2 공식도 기존 SRK/T에 비해 큰 우수함을 보여주지 못했다.

본 연구는 후향적으로 진행된 연구로 상대적으로 적은 수의 수술안을 대상으로 하였으며, 특히 안축장이 길거나 각막곡률값이 작은 환자들의 대상군이 적었으며, Hoffer Q, Haigis 등의 4세대 공식과의 비교를 못했다는 제한점이 있다. 결론적으로 SRK/T, T2, Barrett Universal II 공식 간 수술 후 인공수정체 도수 예측의 정확성에 있어서 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 안축장이 26 mm 이상으로 길거나, 각막곡률 47D 이상으로 가파른 경우, Barrett Universal II 공식이 다른 공식들에 비해 예측오차가 적은 경향을 보였다.

REFERENCES

1) Abulafia A, Barrett GD, Rotenberg M, et al. Intraocular lens power calculation for eyes with an axial length greater than 26.0 mm:

comparison of formulas and methods. *J Cataract Refract Surg* 2015;41:548-56.

2) 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.

3) 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.

4) Olsen T, Olesen H, Thim K, Corydon L. Prediction of postoperative intraocular lens chamber depth. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:587-90.

5) Yi CH, Choi SH, Chung ES, Chung TY. Accuracy of the Haigis formula based on axial length and anterior chamber depth. *J Korean Ophthalmol Soc* 2011;52:175-81.

6) Srivannaboon S, Chirapapaisan C, Chirapapaisan N, et al. Accuracy of Holladay 2 formula using IOLMaster parameters in the absence of lens thickness value. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013;251:2563-7.

7) Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology* 2018;125:169-78.

8) 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.

9) 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.

10) Patel RP, Pandit RT. Comparison of anterior chamber depth measurements from the Galilei Dual Scheimpflug Analyzer with IOLMaster. *J Ophthalmol* 2012;2012:430249.

11) Kim SI, Kang SJ, Oh TH, et al. Accuracy of ocular biometry and postoperative refraction in cataract patients with AL-Scan®. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:1688-93.

12) Shin JA, Hwang KY, Kim MS. Refractive error according to the anterior chamber depth and corneal refractive power in short eyes. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:65-71.

13) Maeng HS, Ryu EH, Chung TY, Chung ES. Effects of anterior chamber depth and axial length on refractive error after intraocular lens implantation. *J Korean Ophthalmol Soc* 2010;51:195-202.

14) Hoffer KJ. The hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:700-12.

15) Donoso R, Mura J, López M, Papic A. Emmetropization at cataract surgery. Looking for the best IOL power calculation formula according to the eye length. *Arch Soc Esp Ophthalmol* 2003;78:477-80.

16) Oh JJ, Choi JS. Accuracy of intraocular lens power calculations according to corneal curvature in short eyes. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:826-32.

17) Eleftheriadis H. IOLMaster biometry: refractive results of 100 consecutive cases. *Br J Ophthalmol* 2003;87:960-3.

18) Shrivastava AK, Behera P, Kumar B, Nanda S. Precision of intraocular lens power prediction in eyes shorter than 22 mm: an analysis of 6 formulas. *J Cataract Refract Surg* 2018;44:1317-20.

19) Faramarzi A, Aghajani A, Ghiasian L. Accuracy of various intraocular lens power calculation formulas in steep corneas. *J Ophthalmic Vis Res* 2017;12:385-9.

= 국문초록 =

인공수정체 도수공식 정확성 비교: SRK/T, Barrett Universal II, T2

목적: 백내장수술환자에서 3가지 인공수정체 도수공식 간(SRK/T, Barrett Universal II, T2) 예측 정확성을 비교해 보고자 하였다.
대상과 방법: 백내장수술을 받은 73명 73안을 대상으로 인공수정체 도수 산출 공식(SRK/T, Barrett Universal II, T2)로 도수를 결정하였고, 수술 후 3개월째에는 구면 대응치와 각 공식의 예측치를 이용해 공식별 예측오차(수술 후 현성 굴절검사를 통해 계산된 구면대응치-수술 전 각 공식들의 목표 굴절력)와 절대오차(예측오차의 절대값)를 비교하였다. 그리고 안축장 길이(AL), 각막곡률(K)의 변화에 따른 수술 후 3개월째 각 공식에서의 예측오차의 변화를 탐색해 보았다.

결과: 백내장수술 후 3개월째에 평균 예측오차와 평균 절대오차는 SRK/T (각 $-0.08 \pm 0.45D$, $0.35 \pm 0.40D$), Barrett Universal II (각 $-0.01 \pm 0.44D$, $0.33 \pm 0.30D$), T2 (각 $0.04 \pm 0.45D$, $-0.34 \pm 0.30D$)으로 공식 간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 다만, $AL \geq 26$ mm나 $K \geq 47D$ 인 경우, Barrett Universal II 공식의 평균 예측오차가 다른 공식들에 비해 0에 가까웠고, 표준편차가 가장 작았다.

결론: 세 공식 간 인공수정체 도수 예측의 정확성에 있어서 유의한 차이는 없었지만, 안축장과 각막곡률이 평균 구간에서 벗어나는 경우 Barrett Universal II과 같은 최신 공식을 고려해 볼 수 있겠다.

<대한안과학회지 2020;61(1):27-33>

이기웅 / Ki Woong Lee

가천대학교 의과대학 길병원 안과학교실
Department of Ophthalmology,
Gil Medical Center,
Gachon University College of Medicine

