

인공수정체 도수 산출 공식간 오차에 영향을 미치는 요인 분석

김보혁^{1,2} · 위원량^{1,2} · 김미금^{1,2}

서울대학교 의과대학 안과학교실¹, 서울대학교병원 의생명연구원 인공안구센터, 안면역각막재생 연구실²

목적: 인공수정체 도수산출 공식간 오차에 영향을 미치는 요인을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 백내장 수술을 받은 266안을 대상으로 인공수정체 도수 산출 공식(SRK/T, HofferQ (H/Q), Master SRK/T (M/T), Master HofferQ (M/Q), Master Holladay (M/Hol), Master Haigis (M/Hai))으로 도수를 결정하였고 수술 후 1개월 구면 대응치와 각 공식의 예측치를 이용해 공식별 평균 절대오차를 비교하였고 공식별 예측치의 차이가 어떤 요인에 의해 발생하는지 분석하였다. 각막곡률에 따라 세 군으로 나눈 후 군간 오차의 차이가 있는지 분석하였고, 각막 곡률의 변화와 각 공식의 절대오차와의 상관관계를 알아보았다.

결과: 평균 절대오차가 가장 작은 공식은 M/T이며 M/Hol, M/Hai, SRK/T, H/Q, M/Q 순으로 공식간 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 공식간 예측값의 차이는 안축장과 각막곡률에 의해 발생했고 다변량 분석에서는 안축장만이 유의하였다. 각막곡률에 따라 나눈 세 군사이의 평균 절대오차가 유의한 차이를 보이는 공식은 SRK/T, M/Hol, M/Hai였다. 각막곡률에 감소함에 따라 절대오차가 유의하게 증가하는 공식은 SRK/T와 M/Hai였고, 특히 안축장이 22.5 mm 이하인 경우에 더 많은 영향을 받았다.

결론: 평균 절대오차는 공식간의 유의한 차이가 없었고 공식간 도수 예측치의 차이는 주로 안축장에 의해 발생하지만 SRK/T와 M/Hai의 절대 오차는 각막곡률에 의해 영향을 많이 받았다.

〈대한안과학회지 2014;55(2):173-181〉

백내장 수술은 현재 매체 혼탁을 제거하는 목적뿐만 아니라 굴절 교정 수술의 하나로 생각 되며 수술 후 정확한 도수 예측은 환자의 만족도와 직접적인 관련이 있다. 수술 후 정확한 도수 예측은 정확한 생체 계측에서 시작되며 IOL Master[®] 혹은 초음파를 이용하여 각막 굴절력, 안축장의 길이를 측정하여 이를 각 공식에 대입하게 된다. 수술 후 인공수정체의 도수를 결정하는 공식은 여러 가지가 있지만 이 중 3세대 공식은 비교적 간단하고 표준치의 안축장에서 정확성을 인정받아 현재 널리 사용되고 있다.¹⁻⁵

생체 계측치를 정확히 측정하려는 노력과 함께 측정된 생체 계측치가 정상에서 벗어나는 경우에 각 공식들의 예측치가 달라지는데 특히 안축장이 표준치에서 벗어나는 경우에 어떤 공식이 더 정확한 예측을 하는지에 대한 여러 연구들이 보고되어 있고 실제 임상에서 적용되고 있다.⁶⁻¹⁰ 최

근에는 Haigis,¹¹ Olsen^{12,13} 공식 등은 수술 전 측정한 전방 깊이가 수술 후 전방 깊이를 예측하여 정확한 인공수정체의 도수를 결정할 수 있다는 인식하에 주목을 받았다. 하지만 또 하나의 중요한 생체계측치인 각막 굴절력이 표준치에서 벗어나는 경우, 다시 말해서 각막이 표준치보다 가파르거나 편평한 경우에 각 공식의 예측력이 어떻게 변화하는지에 대해서 현재까지 연구된 바가 거의 없다.

따라서 본 연구는 인공수정체 도수를 결정하는 각 공식들의 예측치가 다른 경우에 어떤 인자가 이러한 오차에 영향을 미치는지 분석해보고, 이 중 특히, 각막 굴절력의 역할에 주목하여 각막 굴절력이 표준치에서 벗어나는 경우에 각 공식의 오차 정도에 얼마나 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

대상과 방법

Institutional Review Board 승인 하에 2010년 1월부터 2012년 9월까지 본원 안과에서 백내장 수술을 받은 환자를 191명, 266안을 대상으로 진료기록을 후향적으로 조사하였다. 이전에 시력교정술 등 각막 굴절력에 영향을 줄 수 있는 시술을 받았거나 난시 혹은 노안 교정을 위한 특수 렌즈를 사용한 경우, 수술 중 난시 교정을 위한 각막 윤부 절

■ Received: 2013. 5. 4. ■ Revised: 2013. 6. 26.

■ Accepted: 2014. 1. 8.

■ Address reprint requests to Mee Kum Kim, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Seoul National University Hospital, #101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea
Tel: 82-2-2072-2665, Fax: 82-2-2741-3187
E-mail: kmk9@snu.ac.kr

* This study was presented as a narration at the 109th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2013.

제술을 시행했거나 후낭 파열 등의 합병증으로 섬모체 고랑 삽입 혹은 공막 고정을 한 경우처럼 수술 후 굴절상태가 변할 수 있는 경우는 제외하였다.

수술 전 인공수정체 도수 결정을 위해 초음파(Axis II PR, Quantel Medical, USA), IOL Master® (Zeiss, Germany) 및 자동 각막 굴절계(KR-8900, Topcon, Japan)를 이용하여 안축장, 각막곡률 및 난시를 측정하였고 이를 토대로 6 가지 인공수정체 도수 공식, SRK/T, Hoffer Q (H/Q), Master SRKT (M/T), Master HofferQ (M/Q), Master Holladay (M/Hol), Master Haigis (M/Hai)에 적용하여 수술 전 각 공식의 예측치를 산정하였다. 전안부빛간섭단층촬영(Visante OCT, Zeiss, USA)을 이용해 전방 깊이 및 각막두께를 측정하였고 각막지형도 검사(Atlas 9000, Zeiss, USA)를 이용해 구면 수차를 구하였다. 수술은 모두 한 명의 술자(KMK)에 의해 시행되었으며, 투명 각막 절개로 백내장 초음파 유화술을 시행하고 후방 내 인공수정체를 삽입하였다. 인공수정체의 A-constant는 초음파로 측정한 값을 이용하였는데 SN60WF (A-constant: 118.8), SA60AT (A-constant: 118.4), AR40e (A-constant: 118.4) 및 Tecnis ZCB00 (A-constant: 118.8)를 사용하였다(Table 1).

수술 1개월 후 자동 각막 굴절계를 이용해 수술 후 구면 대응치를 구하고 이 값과 수술 전 각 공식의 예측치의 차이의 절대값을 구해 각 공식의 평균절대오차를 비교하였다. 또한 수술 전 공식간 예측치의 절대 차이가 0.5D 이상인 군(A)과 0.5D 이하인 미만인 군(B)을 나누어 두 군이 어떤 요인에서 차이가 나는지에 대해 분석하였다. 각 공식간 절대오차를 모두 계산하고, 이 중 가장 큰 값은 바이어스를 고려해 버리고, 나머지 중 가장 큰 절대오차를 보이는 값을 취해 0.5D 이상이면 A군에 포함되었고, 공식간 모든 오차가 0.5D 미만이면 B군에 포함되었다. 오차에 영향을 줄 변수로서 안축장, 각막곡률, 난시 및 난시축, 각막두께, 구면 수차 그리고 전방 깊이를 선정하였으며, 연속값은 독립표본 t-검정으로 분석하였고, 난시축은 0도에서 ±30도 사이는 정난시로, 90도에서 ±30도 사이는 도난시로 정의하여 각 군간 차이가 있는지를 chi-square test로 분석하였다. 단변량 분석에서 유의했던 요인들을 추가로 로지스틱 회귀분석을 통한 다변량 분석을 시행하였다.

각막의 굴절력의 영향을 추가적으로 파악하기 위해, 평균각막곡률이 42D 미만인 경우(1군), 42D 이상 44D 미만인 군(2군), 44D 이상인 군(3군)으로 나누어 각 군에 따라 각 공식의 절대오차가 각 군간 유의한 차이가 있는지 일원배치 분산분석, 사후 분석인 Turkey's Honestly Significant Difference를 통해 전체 군간 분석 및 각 두 군간 분석을 시행하였다. 또한 각막 곡률이 변할 때 각 공식의 절대오차의 상관관계를 선형 회귀분석으로 분석하였고, 안축장의 길이에 따라 환자군을 22.5 mm 미만인 군(a), 22.5 mm 이상, 25 mm 미만인 군(b)과, 25 mm 이상인 군(c)으로 나눈 뒤 각 하위 그룹에서 절대 오차와 각막 굴절력의 상관관계를 추가로 분석하였다.

SPSS software version 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)를 이용하여 통계 분석을 시행하였고 통계적 유의성은 p -value<0.05로 정의하였다.

결 과

대상 인원은 191명 266안으로 남자가 71명 102안(38%), 여자가 120명 164안(62%)이었으며 평균 나이는 67.23 ± 10.7 세(15-92세)였다. 평균 각막 곡률은 43.86 ± 1.83 (39.15-48.66)디옵터, 평균 안축장의 길이는 24.50 ± 2.76 mm (21.13-36.62)였다.

공식간 평균 절대 오차는 M/T가 0.43 ± 0.49 로 가장 낮았고 M/Hol (0.44 ± 0.41), M/Hai (0.45 ± 0.49), SRK/T (0.46 ± 0.37), H/Q (0.47 ± 0.39), M/Q (0.47 ± 0.43) 순이었지만 각 공식간 통계적으로 유의한 차이는 없었다(One way ANOVA, $p=0.893$). 절대오차가 0.5디옵터 이하인 경우는 M/Hai가 202안 중 143안(70.7%)으로 가장 많았지만 절대오차가 1디옵터 이상인 경우도 20안(10%)으로 가장 많았고 2디옵터 이상인 경우도 4안이 있었다(Fig. 1, Table 2).

공식간 예측치의 절대오차가 0.5디옵터 이상인 A군과 미만인 B군 사이에는 안축장($p=0.00$)과 각막곡률($p=0.031$)이 유의한 차이를 보였고, 난시 정도($p=0.405$) 및 난시축($p=0.104$), 각막두께($p=0.147$), 구면 수차($p=0.712$) 그리고 전방 깊이($p=0.585$)는 연관이 없었다(independent

Table 1. Information of four intraocular lens subtypes and number of uses

	SA60AT	AR40e	SN60WF	Tecnis ZCB00
Company	Alcon	AMO	Alcon	AMO
Optic type	Spheric	Spheric	Aspheric	Aspheric
A constant	118.4	118.4	118.7	118.8
Piece(s)	1	3	1	1
Eyes (numbers)	77	14	155	20

Table 2. Comparison of mean absolute errors (MAE) between formulas and number of eyes with mean absolute errors less than 0.5 diopter, more than 1 diopter, and more than 2 diopter

	SRK/T	H/Q	M/T	M/Q	M/Hol	M/Hai	Sig
MAE (diopter)	0.46 ± 0.37	0.47 ± 0.39	0.43 ± 0.39	0.47 ± 0.43	0.44 ± 0.48	0.44 ± 0.49	$p = 0.893$
Number of eyes	266	266	266	266	266	202	
MAE < 0.5 D	171 (64%)	160 (60%)	183 (68%)	168 (63%)	178 (66%)	143 (71%)	
MAE > 1 D	24 (9%)	22 (8%)	23 (8%)	26 (9%)	25 (9%)	21 (10%)	
MAE > 2 D	1 (0.3%)	1 (0.3%)	1 (0.3%)	2 (0.7%)	2 (0.7%)	4 (2%)	

Values are presented as mean ± SD.

D = diopter; MAE = mean absolute error; HofferQ = H/Q; Master SRK/T = M/T; Master HofferQ = M/Q; Master Holladay = M/Hol; Master Haigis = M/Hai.

Table 3. Characteristics of 3 groups classified on average keratometry values

	Group 1 [*]	Group 2 [†]	Group 3 [‡]	Total	Sig [§]
Eyes (number)	46	95	125	266	
Mean age (years)	63.5 ± 18.0	67.4 ± 9.1	68.4 ± 10.3	67.23 ± 10.7	$p = 0.156$
Kavg (diopter)	41.18 ± 0.69	43.10 ± 0.55	45.47 ± 0.97	43.86 ± 1.83	$p = 0.000$
AXL (mm)	25.63 ± 2.40	24.91 ± 2.90	23.75 ± 2.58	24.50 ± 2.76	$p = 0.000$
ACD (mm)	2.63 ± 0.45	2.54 ± 0.42	2.64 ± 0.48	2.61 ± 0.45	$p = 0.238$
MAE (diopter)					
SRKT	0.59 ± 0.48	0.49 ± 0.35	0.39 ± 0.32	0.46 ± 0.37	$p = 0.018$
H/Q	0.53 ± 0.48	0.45 ± 0.39	0.45 ± 0.35	0.46 ± 0.37	$p = 0.639$
M/T	0.54 ± 0.50	0.38 ± 0.38	0.43 ± 0.35	0.43 ± 0.39	$p = 0.129$
M/Q	0.56 ± 0.49	0.39 ± 0.40	0.49 ± 0.41	0.47 ± 0.43	$p = 0.081$
M/Hol	0.61 ± 0.51	0.38 ± 0.39	0.42 ± 0.36	0.44 ± 0.41	$p = 0.009$
M/Hai	0.69 ± 0.74	0.37 ± 0.49	0.39 ± 0.30	0.44 ± 0.49	$p = 0.006$

Values are presented as mean ± SD.

Kavg = average keratometric value; AXL = axial length; ACD = anterior chamber depth; MAE = mean absolute error; HofferQ = H/Q; Master SRK/T = M/T; Master HofferQ = M/Q; Master Holladay = M/Hol; Master Haigis = M/Hai.

^{*}Kavg < 42 D; [†]42 D ≤ Kavg < 44 D; [‡]44 D ≤ Kavg; [§]One way ANOVA test.

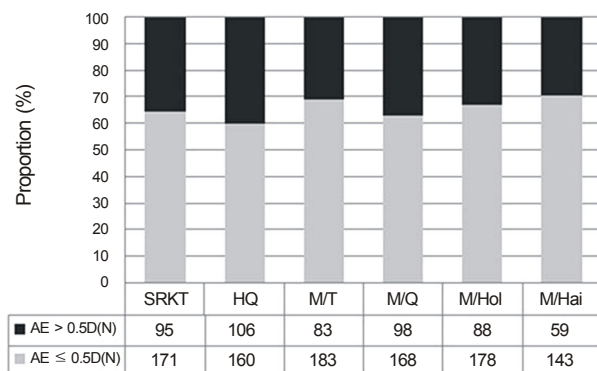


Figure 1. The proportion of eyes with an absolute error (AE) of less than 0.5 diopter and more than 0.5 diopter. The proportion of AE less than 0.5 D was greatest in the M/Hai formula (70.7%), followed by the M/T (68.7%), M/Hol (66.9%), SRK/T (64.2%), M/Q (63.1%), and H/Q (60.1) formulas. D = diopter; AE = absolute error; HofferQ = H/Q; Master SRK/T = M/T; Master HofferQ = M/Q; Master Holladay = M/Hol; Master Haigis = M/Hai.

t -test). 이 두 가지 변수로 다변량 분석을 시행해 본 결과 안축장이 유의한 차이를 보이는 것으로 분석되었다($p=0.002$,

Logistic regression test).

각막곡률에 따라 환자를 분류하였을 때 1군은 총 46안으로 평균 각막곡률이 41.18 ± 0.69 디옵터, 안축장은 25.63 ± 2.40 mm, 2군은 총 95안, 평균 각막곡률 43.10 ± 0.55 디옵터, 안축장 24.91 ± 2.90 mm, 그리고 3군은 총 125안으로 평균 각막곡률 45.47 ± 0.97 디옵터, 안축장 23.75 ± 2.58 mm였다(Table 3). 모든 공식에서 각막곡률 및 안축장이 정상 범위인 2군의 평균 절대오차가 가장 낮았고, 군간의 유의한 차이가 있었던 공식은 SRK/T의 1군과 3군($p=0.008$ Turkey's Honestly Significant Difference), M/Hol와 M/Hai의 1군과 2군($p=0.003$, $p=0.003$, Turkey's Honestly Significant Difference), 그리고 1군과 3군이였다($p=0.015$, 0.004 , Turkey's Honestly Significant Difference) (Fig. 2).

SRK/T와 M/Hai는 안축장을 보정하여 관찰시 각막곡률이 변화에 따라 절대오차가 유의한 수준에서 변화하였으며($p=0.0031$, 0.032 , Linear regression analysis) 나머지 공식에서는 각막곡률의 변화와 절대오차의 변화는 상관성을 보이지 않았고, 안축장의 변화에만 유의한 상관관계를 보였

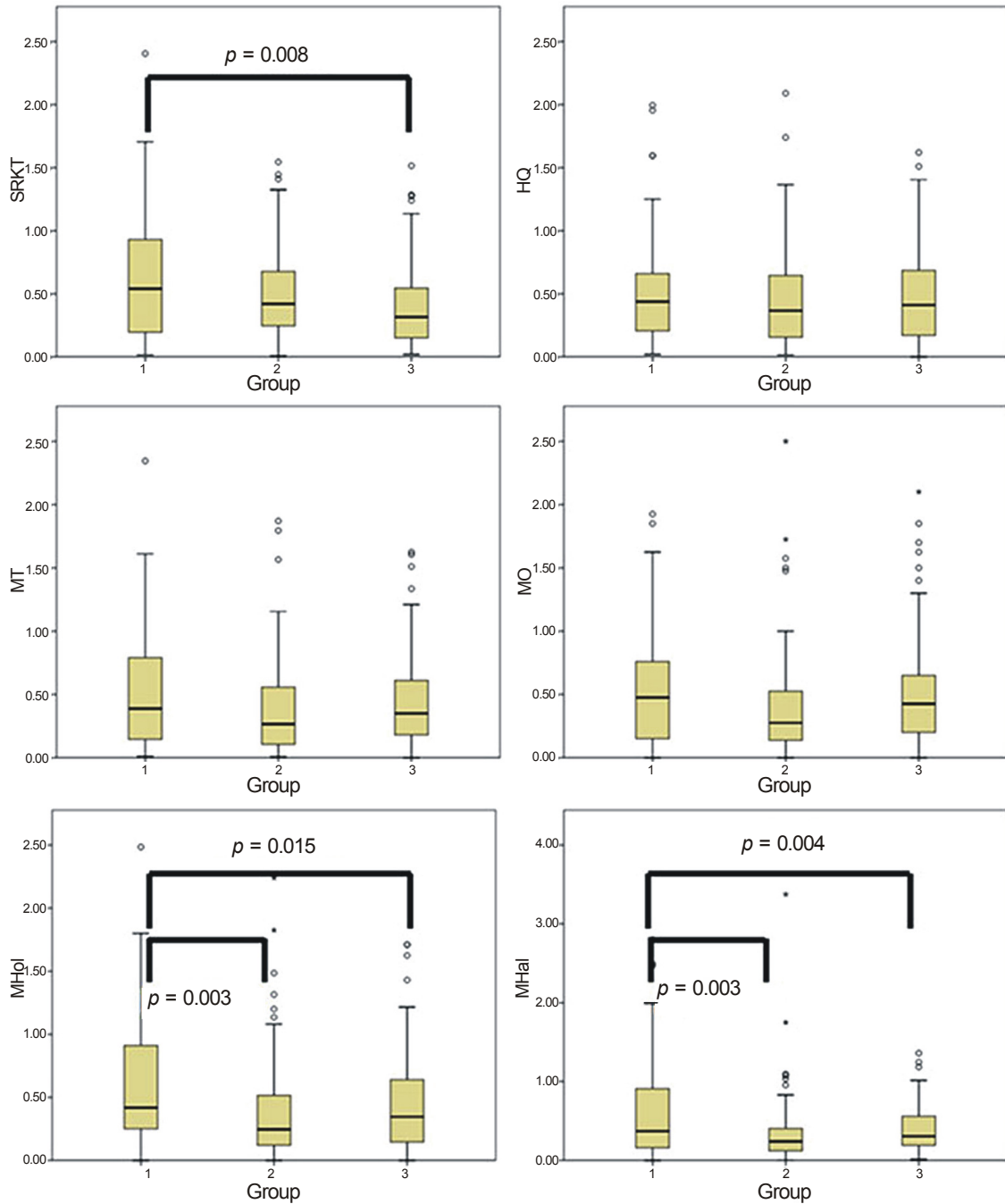


Figure 2. Comparison of mean absolute error in each formula between the 3 groups according to keratometry values. Significant difference of mean absolute error exists between group 1 and group 3 in SRK/T and between group 1 and group 2, group 1 and group 3 in M/Hol and M/Hai. Significance of the p is defined as less 0.05 by Turkey's HSD test. HofferQ = H/Q; Master SRK/T = M/T; Master HofferQ = M/Q; Master Holladay = M/Hol; Master Haigis = M/Hai.

다(Fig. 3A, B).

안축장을 기준으로 환자군을 나누었을 때, 특히 안축장이 22.5 mm 미만인 a군에서 SRK/T ($p=0.000$, Linear regression analysis)와 M/Hai ($p=0.005$, Linear regression analysis)의 절대오차는 결정계수가 각각 0.26, 0.16로 상

승하여 각막곡률에 더 많은 영향을 받는 것으로 분석되었고 전방 깊이나 안축장은 유의한 영향을 끼치지 못하였다 (Table 4, Fig. 3C).

안축장이 22.5 mm 이상 25 mm 미만인 b군과 25 mm 이상인 c군에서는 모든 공식에서 각막곡률과 절대오차의 변

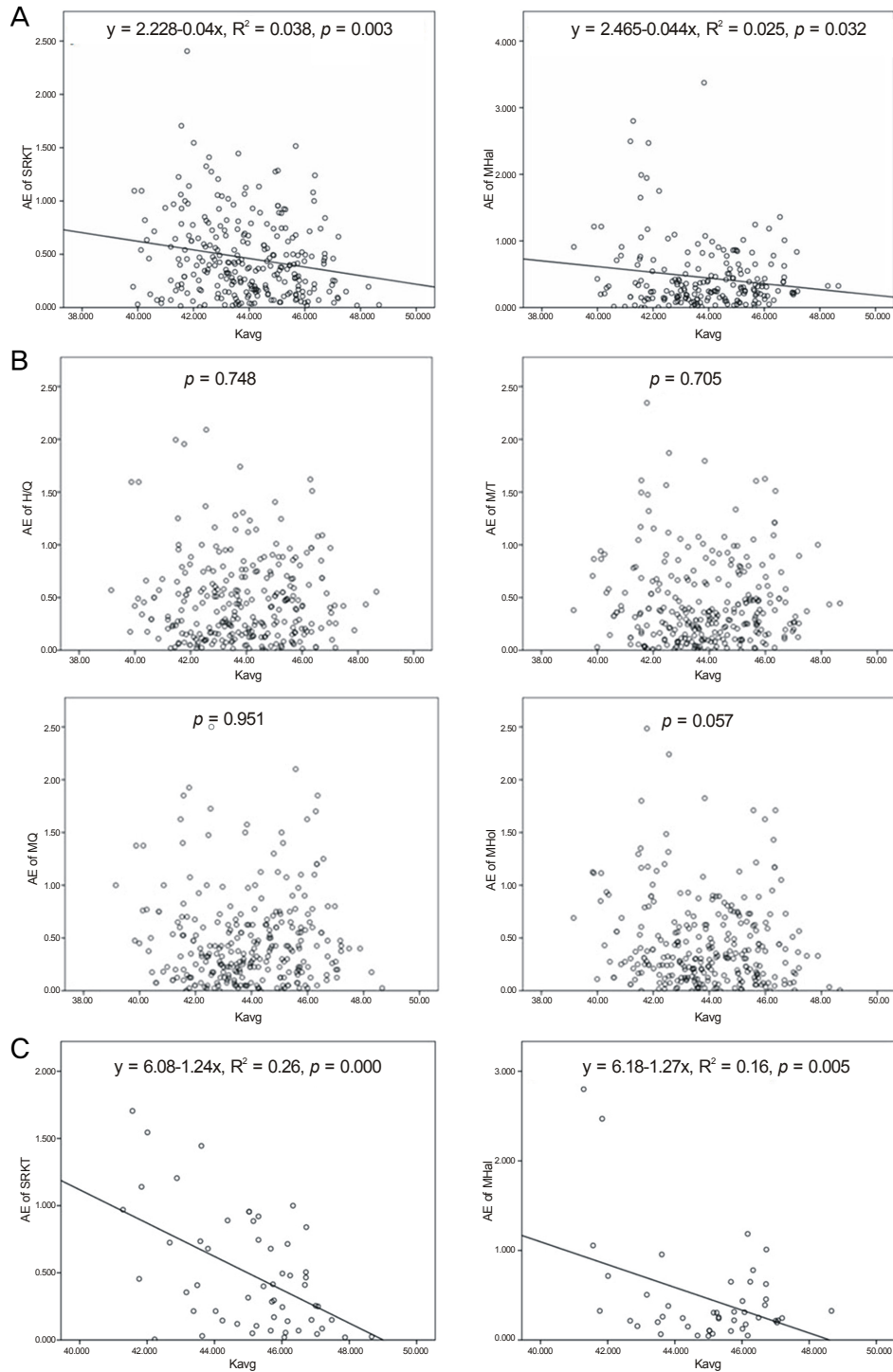


Figure 3. Linear regression analysis. (A) Linear regression analysis shows a significant negative correlation between average K (x) and the AE of SRK/T and M/Hai formula (y). The best fit line has the equation $y = 2.228 - 0.04x$ in SRK/T ($R^2 = 0.038$, $p = 0.003$) and $y = 2.465 - 0.044x$ ($R^2 = 0.025$, $p = 0.032$). (B) Linear regression analysis shows an insignificant correlation between average K and the AE of H/Q ($p = 0.748$), M/T ($p = 0.705$), M/Q ($p = 0.951$), and M/Hol ($p = 0.057$) formulas. (C) Linear regression analysis shows a significant negative correlation between average K (x) and the AE of SRK/T formula (y) and M/Hai in the short axial length group. The best fit line has the equation $y = 5.955 - 0.121x$ ($R^2 = 0.237$, $p = 0.000$,) in SRK/T and $y = 5.955 - 0.121x$ ($R^2 = 0.237$, $p = 0.000$) in M/Hai. Kavg = average keratometric value; AE = absolute error; Master Haigis = M/Hai; HofferQ = H/Q; Master SRK/T = M/T; Master HofferQ = M/Q; Master Holladay = M/Hol.

Table 4. Characteristics of 3 groups classified according to axial length values

	Group a [*]	Group b [†]	Group c [‡]	Total
Eyes (numbers)	55	142	69	266
Mean age (years)	67.3 ± 12.3	70.3 ± 7.5	61.1 ± 13.4	67.23 ± 10.7
AXL (mm)	21.96 ± 0.40	23.7 ± 0.64	28.24 ± 2.84	24.50 ± 2.76
Kavg (diopter)	45.15 ± 1.72	43.7 ± 1.69	43.12 ± 1.69	43.86 ± 1.83
ACD (mm)	2.28 ± 0.33	2.57 ± 0.40	2.97 ± 0.36	2.61 ± 0.45

Values are presented as mean ± SD.

Kavg = average keratometric value; AXL = axial length; ACD = anterior chamber depth.

^{*}AXL < 22.5 mm; [†]22.5 mm ≤ Kavg < 25 mm; [‡]25 mm ≤ Kavg.

화는 상관성이 없었다.

고 찰

본 연구는 시력 교정 굴절 수술로 발전하고 있는 백내장 제거 및 인공수정체 삽입술에 있어, 최소한으로 오차를 줄이기 위한 실제적 관심에서 진행되었다. 저자들은 안축장이 정상 범위인 경우에도 초음파와 IOL master를 이용해 두 번씩 실시한 6가지의 공식들이 서로 0.5 D-1 D 이상의 오차를 보이는 경우를 경험하였고, 이에 안축장뿐만 아니라 적은 부분이지만 각막곡률도 오차 요인으로 역할함을 가정하고, 어느 공식이 가장 영향을 덜 받는지를 파악하여 임상 적용에 도움을 받고자 하였다.

정확한 생체계측기술의 발달과 함께 인공수정체 도수를 계산하는 공식의 진화로 백내장 수술 후 도수 예측은 이전 보다 훨씬 더 정확해지고 있다. 특히 SRK-T 공식,¹⁴ Hoffer Q 공식,¹⁵ Holladay 공식,¹⁶ Haigis¹¹ 공식 등의 3세대 공식은 측정된 안축장과 각막곡률을 바탕으로 수술 후 전방 깊이를 예측함으로써 정확성을 더 향상시켰다는 평가를 받는다.¹⁷⁻¹⁹ 하지만 각 공식들은 정규 분포상 대다수 환자들이 속하는 평균적인 각막 굴절력과 안축장 및 전방 깊이에 대해서는 거의 비슷한 인공수정체 도수를 예측하는데 반해 이들 인자가 평균에서 벗어나는 경우 서로 다른 예측치를 보이는 경우가 많고 평균에서 벗어나는 정도가 심할수록 오차가 커지는 경향을 보여 인공수정체의 선택에 어려움을 겪게 되는 일이 있음은 잘 알려졌다.^{3,20}

현재까지 안축장의 변화에 따라 어떤 공식이 정확한 도수를 예측하는가에 대한 연구가 가장 많이 보고되었는데 이를 보면 안축장이 짧은 환자들에게 Hoffer Q 공식이 가장 정확하다는 보고는 Hoffer¹⁵가 1993년에 Hoffer Q 공식을 다른 1세대 및 2세대 공식들과 비교한 논문을 발표한 이후로 여러 연구에 의해 확인되었고 실제 임상에서 적용되고 있다.^{6,21,22} 최근에는 수술 전 측정된 환자의 전방 깊이가 수술 후 도수에 영향을 미친다는 연구들도 있는데 예로 Maeng et al²³은 안축장이 짧고 전방 깊이가 얇은 경우 굴

절오차가 커졌다는 보고를 하였다.

하지만 인공수정체의 도수를 결정하는 데에 있어 중요한 다른 한가지 요인인 각막 굴절력에 있어서 각막 굴절력이 정상보다 가파르거나 편평한 경우에 어떤 공식이 가장 정확한가에 대한 연구는 현재까지 거의 이루어지지 않았다. Hoffer¹⁵는 안축장을 보정한 후 각 공식이 계산한 인공수정체 도수와 각막 굴절력간의 상관 관계를 분석한 결과를 보고하였는데 안축장이 짧은 환자들에서 각막 굴절력이 낮을수록 각 공식이 예측한 인공수정체의 도수의 차이가 커졌고 Hoffer Q, Holladay, SRK/T 공식 순으로 가장 높은 도수의 인공수정체를 예측하였다고 하였다.¹⁰ 또한 Shin et al²⁴도 짧은 안축장을 가진 환자에서 각 공식이 예측한 인공수정체 도수와 각막 굴절력의 상관관계를 분석한 결과 각막 굴절력이 낮을수록 공식간 계산된 도수의 차이가 커졌고 Hoffer의 분석과 마찬가지로 Hoffer Q공식이 가장 높은 인공수정체의 도수를 예측하였다는 보고를 하였다. 하지만 이들 연구에서는 Hoffer Q가 가장 높은 도수의 인공수정체를 예측했으므로 원시로의 편위 가능성이 가장 적을 것이라는 예측을 하였지만 수술 후 실제 도수와의 비교를 통한 굴절 오차에 대한 보고는 없었다. 따라서 실제 각막 굴절력이 변할 때 어떤 공식의 오차도가 증가하는 지에 대한 연구가 필요하다고 생각하였다.

본 연구에서 평균 절대 오차가 가장 작은 공식은 M/T였지만 모든 공식들은 0.5디옵터 이내의 평균 절대오차를 보였고 공식간 절대오차의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 평균 절대 오차가 0.5디옵터 이내로 예측한 비율은 M/Hai에서 70.7%로 가장 높았으며 H/Q에서 60%로 가장 낮았다. 이는 실제 백내장 수술 시 인공수정체를 선택할 때 안축장이나 각막 곡률 등의 생체 계측치의 영향을 따로 분리하지 않고 공식에 의해 계산된 기대 구면대응치를 바탕으로 선택하게 되므로 이 결과 자체로도 임상적인 의미를 가질 수 있다고 판단된다. 다만 이는 넓은 범위의 생체 계측치를 모두 합쳐 놓은 환자군에서 생체 계측치에 대한 보정을 하지 않은 결과이고 본 연구의 특성상 표준치에서 벗어난 각막곡률의 영향을 분석하기 위해 각막곡률이 편평하

거나 가파른 환자군 또는 안축장이 짧거나 긴 비정상군이 다수 포함되어 있어 무작위로 환자군을 선택한 다른 연구와는 결과가 다를 수 있다고 생각된다.

가장 궁금했던, 공식간 절대 오차가 0.5D 이상인 군(A)과 모든 공식간 오차가 0.5D 미만인 군(B)의 생체계측 지수의 차이인데, 유의한 차이를 보인 것은 각막곡률과 안축장이었고, 이 두 가지만 따로 다변량 분석을 시행한 결과 안축장만이 유의하게 차이를 보였다. 실제로 안축장은 각막곡률과 역의 상관 관계를 가지지만, 각막 곡률을 보정했을 때 안축장 자체로 유의하다는 결과는 안축장이 공식의 정확도에 미치는 영향이 각막곡률에 독립적이고 훨씬 더 중요하다는 것으로 해석된다.

각막 곡률에 따라 환자군을 나누어 보았을 때 SRK/T를 제외한 모든 공식에서 표준치의 각막 굴절력을 가진 2군의 절대오차가 가장 낮았고 모든 공식에서 각막이 편평한 1군에서 다른 군보다 절대 오차가 큰 것을 확인할 수가 있었다. 이 중에서 SRK/T 공식과 M/ Hol 공식 그리고 M/Hai 공식이 각 군에서 유의한 차이가 있었고, 특히 SRK/T 공식은 각막 굴절력이 큰 3군에서 가장 낮은 절대오차를 보여주었다. 이것은 SRK/T 공식의 정확도가 각막 굴절력의 변화에 가장 민감할 가능성을 해석할 수 있다. 안축장을 보정한 상태에서도 SRK/T와 M/Hai 공식은 각막곡률이 작아수록 유의하게 절대오차가 커지는 것으로 분석되었고, 나머지 공식들의 절대오차는 안축장의 변화에 유의한 변화를 보였지만 각막곡률의 변화와는 상관성이 없었다. 다만 SRK/T와 M/Hai 공식의 절대 오차도 각막곡률의 변화만으로는 설명력이 약하였지만 추가 분석에서 안축장이 22.5 mm보다 작은 환자군에서 두 가지 공식 모두 유의할 뿐 아니라 설명력이 높아지는 결과를 보여 안축장이 짧은 환자군에서 각막 굴절력의 영향이 더 커짐을 알 수 있었다.

SRK/T 공식은 전방 깊이와 안축장이 비례한다는 이론을 바탕으로 하고 있고 Hoffer¹⁵가 보고한대로 안축장이 짧아질수록 전방 깊이가 더 많이 짧아진다면 이러한 결과가 수술 전 전방 깊이를 잘못 예측한 것이 원인이라는 해석이 가능하다. 또 특히 안축장이 짧은 환자들을 대상으로 측정된 술전 전방 깊이가 부정확하다는 이유로 수술 후 굴절오차를 줄이기 위해서 술 전 전방 깊이의 정확한 측정이 가장 중요하다는 보고도 있다.¹⁹ 하지만 본 연구에서 전안부빛간섭단층 촬영을 통해 측정된 환자들의 수술 전 전방 깊이는 안축장의 변화와 강한 선형관계에 있었고, 실제로 안축장을 보정한 후 전방 깊이는 수술 후 공식의 오차에 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 또한 M/Hai 공식은 술 전 정확한 전방 깊이의 측정이 술 후 전방 깊이를 예측하는데 안축장보다 중요하다는 이론에 기반하고 있지만, 본 연구에서

전체 환자를 대상으로 한 정확도는 M/Hai가 가장 낮았고 술 전 전방 깊이를 고려한 것임에도 불구하고 각막 굴절력의 변화에 오차가 영향을 받았다는 사실로 미루어 전방 깊이보다 각막 굴절력이 영향을 미친 것으로 보인다.

본 연구의 한계는 후향적 연구라는 것과 표준치의 각막 굴절력과 안축장을 벗어난 다수의 환자가 포함되어 표본선택편향이 있다는 점, 그리고 수술 시 4가지의 서로 다른 인공수정체가 사용되어 각 인공수정체간 생길 수 있는 오차를 보정하지 못하였다는 점을 들 수 있다. 그러나 공식간 오차가 편차가 심할 때, 각막곡률이 정상에서 편위가 되었으면 SRK/T와 M/ Haigis의 정확도가 떨어질 것을 예측할 수 있고, 특히 안축장이 짧을 때 이 효과가 커짐을 고려한다면, 기타 다른 공식을 참조하여 예측치를 결정하는 것이 유리할 수 있음을 시사하므로 임상 적용에 도움이 될 수 있다는 데 의의가 있다.

결론적으로 본 연구에서 공식간의 평균 절대오차는 유의한 차이는 보이지 않았으며 인공수정체 도수를 예측하는 공식 별 오차는 안축장의 차이에 의해 발생하였다. 안축장을 보정한다면 각막 곡률이 변할 때 SRK/T와 M/ Haigis의 정확도가 영향을 받고, 특히 안축장이 22.5 mm 이하로 짧을 경우 SRK/T와 M/Haigis의 정확도는 각막곡률이 작아질수록 떨어지므로 백내장 수술 시 이를 고려하여 인공수정체 도수를 선택하는 것이 도움이 될 것이라고 생각한다.

REFERENCES

- 1) Holladay JT. Refractive power calculations for intraocular lenses in the phakic eye. *Am J Ophthalmol* 1993;116:63-6.
- 2) 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.
- 3) Eleftheriadis H. IOLMaster biometry: refractive results of 100 consecutive cases. *Br J Ophthalmol* 2003;87:960-3.
- 4) Holladay JT, Prager TC, Ruiz RS, et al. Improving the predictability of intraocular lens power calculations. *Arch Ophthalmol* 1986;104:539-41.
- 5) Lee AC, Qazi MA, Pepose JS. Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol* 2008;19:13-7.
- 6) MacLaren RE, Natkunarajah M, Riaz Y, et al. Biometry and formula accuracy with intraocular lenses used for cataract surgery in extreme hyperopia. *Am J Ophthalmol* 2007;143:920-31.
- 7) Gavin EA, Hammond CJ. Intraocular lens power calculation in short eyes. *Eye (Lond)* 2008;22:935-8.
- 8) 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.
- 9) Wang L, Shirayama M, Ma XJ, et al. Optimizing intraocular lens power calculations in eyes with axial lengths above 25.0 mm. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:2018-27.

- 10) Roh YR, Lee SM, Han YK, et al. Intraocular lens power calculation using IOLMaster and various formulas in short eyes. *Korean J Ophthalmol* 2011;25:151-5.
- 11) Haigis W. The Haigis formula. In: HJ S, ed. *Intraocular lenspower calculations*. Thorofare, NJ: Slack, 2004; chap. 5.
- 12) Olsen T, Olesen H, Thim K, Corydon L. Prediction of post-operative intraocular lens chamber depth. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:587-90.
- 13) Olsen T. The Olsen formula. In: HJ S, ed. *Intraocular Lens Power Calculations*. Thorofare, NJ: Slack, 2004; chap. 4.
- 14) Olsen T, Thim K, Corydon L. Theoretical versus SRK I and SRK II calculation of intraocular lens power. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:217-25.
- 15) Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:700-12.
- 16) Holladay JT, Prager TC, Chandler TY, et al. A three-part system for refining intraocular lens power calculations. *J Cataract Refract Surg* 1988;14:17-24.
- 17) Holladay JT, Prager TC. Accurate ultrasonic biometry in pseudophakia. *Am J Ophthalmol* 1989;107:189-90.
- 18) Retzlaff JA, Sanders DR, Kraff MC. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:333-40.
- 19) Holladay JT. Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. *J Cataract Refract Surg* 1997;23:1356-70.
- 20) Findl O, Kriechbaum K, Sacu S, et al. Influence of operator experience on the performance of ultrasound biometry compared to optical biometry before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1950-5.
- 21) Lee YE, Choi KR, Jun RM. Accuracy of intraocular lens power calculations according to the formulas and anterior chamber depth in short eyes. *J Korean Ophthalmol Soc* 2010;51:1338-44.
- 22) Donoso R, Mura JJ, López M, Papic A. [Emmetropization at cataract surgery. Looking for the best IOL power calculation formula according to the eye length]. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2003;78:477-80.
- 23) 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.
- 24) 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.

=ABSTRACT=

Analysis of Factors that Influence on Accuracy of Intraocular Lens Power Calculation

Bo Hyuck Kim, MD^{1,2}, Won Ryang Wee, MD, PhD^{1,2}, Mee Kum Kim, MD, PhD^{1,2}

*Department of Ophthalmology, Seoul National University College of Medicine¹, Seoul, Korea
Laboratory of Corneal Regenerative Medicine and Ocular Immunology, Seoul Artificial Eye Center,
Seoul National University Hospital Biomedical Research Institute², Seoul, Korea*

Purpose: To investigate which factors primarily influence refractory errors between various formulas used to calculate intraocular lens (IOL) power.

Methods: Records of 266 eyes of 191 patients who underwent uneventful cataract surgery were reviewed retrospectively. IOL power was determined using SRK/T, HofferQ (H/Q), Master SRK/T (M/T), Master HofferQ (M/Q), Master Holladay (M/Hol), and Master Haigis (M/Hai). The mean absolute error (MAE) of each formula was compared; MAE was defined as the difference between the postoperative spherical equivalence (SE) determined 1 month after surgery and the predicted SE. Factors that could have influenced interformula refractive errors were analyzed. Patients were divided into 3 groups based on average keratometric value (Kavg) and the inter-group differences of the AE of each formula were analyzed. Effects of corneal curvature on changes in AE of each formula were evaluated by linear regression.

Results: The MAE was minimized in the M/T formula, followed by the M/Hol, M/Hai, SRK/T, H/Q, and M/Q formulas. Interformula MAE differences were not statistically significant. Kavg and AXL were significantly influenced by the different predictive values between formulas in univariate analysis, but only AXL was significant in multivariate analysis. The AE in each formula among the 3 groups according to keratometry was significantly different in SRK, M/Hol, and M/Hai. Linear regression analysis showed a significant negative correlation between Kavg, AE of SRK/T and the MHai formula. In particular, this effect was more pronounced in those with short AXL (<22.5 mm).

Conclusions: There were no significant MAE differences between formulas. AXL was a significant factor that influenced the differences between formulas. SRK/T and M/Hai may be affected by outside the normal range of corneal curvatures. J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(2):173-181

Key Words: Axial length, Corneal curvature, Intraocular lens power calculation, Refractive error

Address reprint requests to **Mee Kum Kim, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Seoul National University Hospital
#101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea
Tel: 82-2-2072-2665, Fax: 82-2-2741-3187, E-mail: kmk9@snu.ac.kr