

접촉식 안초음파를 이용한 하기스 공식의 임상적 유용성

The Clinical Efficacy of the Haigis Formula Using A-Scan Contact Ultrasound Biometry

박건형¹ · 조영모² · 이종수¹

Keun Heung Park, MD¹, Young Mo Cho, MD², Jong Soo Lee, MD, PhD¹

부산대학교 의학전문대학원 부산대학교병원 안과학교실¹, 국군의무사령부 응급의학과²

Department of Ophthalmology, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine¹, Busan, Korea

Department of Emergency Medicine, The Armed Forces Medical Command², Seongnam, Korea

Purpose: To investigate the accuracy of the Haigis formula compared to other formulas using contact ultrasound biometry.

Methods: This study was performed on 94 patients (114 eyes) who underwent cataract surgery in our hospital. Axial length (AXL) and anterior chamber depth (ACD) were measured using both A-scan and intraocular lens (IOL) Master[®]. Patients were divided into three groups based on AXL; Group I (AXL < 22.5 mm), Group II (22.5 mm ≤ AXL < 25.5 mm), and Group III (AXL ≥ 25.5 mm). Before cataract surgery, predicted refraction was calculated using the Haigis, SRK/T, Hoffer Q, and Holladay 1 formulas using both A-scan and IOL Master[®] measurements. Mean absolute error (MAE) were analyzed at one month after surgery using the various IOL formulas.

Results: Using contact ultrasound biometry, in Group I, MAE of Haigis was 0.80 ± 0.67 D and was significantly lower than that using SRK/T. In Group II, the Haigis MAE was 0.72 ± 0.55 D and was significantly lower than the results of all other formulas. In Group III, the Haigis MAE was 0.76 ± 1.13 D and not significantly different from the results of other formulas. Comparing MAE of A-scan to IOL Master[®], the Haigis formula showed 0.16 D higher error that decreased when the AXL was close to the normal range.

Conclusions: Using contact ultrasound biometry, the Haigis formula provided the best predictability of postoperative refractive outcome compared to other formulas in eyes with normal axial length.

J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(12):1793-1799

Key Words: A-scan, Axial length, Cataract, Haigis formula, IOL formulas

백내장 수술기법이 발달하면서 정확한 인공수정체의 도수를 결정하는 것은 수술 전 검사에서 무엇보다 중요한 문제이다. 일반적으로 인공수정체의 도수를 산출하기 위해서는 생체계측인자인 안구길이(axial length, AXL), 각막곡률(keratometry, K)과 도수 계산공식이 필요하다. Olsen¹의 연

구에 의하면 각막곡률이 가장 중요한 영향을 미치지만, 그 다음으로는 수술 전 전방깊이(anterior chamber depth, ACD)가 중요한 역할을 한다고 주장하였으며, 최근에는 이러한 전방깊이의 중요성이 함께 강조되고 있다.

안구길리와 전방깊이의 측정에 있어 기존의 접촉식초음파 생체계측을 통한 도수 산출방법은 수술 전 예측치와 술 후 실제 도수와의 차이가 큰데, 안구길리의 측정에 의한 오차가 가장 큰 원인으로 언급된다.² IOL Master[®]가 도입되면서 이러한 안구길이 측정에 의한 오차는 초음파 방식에 비해 많이 개선되었다.^{3,4} IOL Master[®]는 적외선 영역의 레이저빔을 조사하여 각막 첨단부와 망막의 내경계막 사이의

■ Received: 2014. 5. 24. ■ Revised: 2014. 7. 7.

■ Accepted: 2014. 11. 17.

■ Address reprint requests to **Jong Soo Lee, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Pusan National University Hospital, #179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 602-739, Korea
Tel: 82-51-240-7323, Fax: 82-51-242-7341
E-mail: jongsool@pusan.ac.kr

거리를 측정하며, 마취가 필요하지 않고 눈과 직접적으로 접촉하지 않아 각막을 손상시키지 않는다. 또한 안구길이, 전방깊이, 각막곡률을 한 번에 측정하여 사용하기 쉽고 빨라 검사자의 숙련도에 크게 영향을 받지 않는다는 장점이 있다.

그러나 이러한 IOL Master®의 우월한 장점에도 불구하고, 각막 혼탁이나 후낭하 백내장, 심한 백내장 등의 매체 혼탁이 심한 경우 혹은 안진, 사시 등으로 주시가 어려운 경우 IOL Master®가 불가능한 경우가 있다.⁵ 따라서 아직까지도 안과에서 접촉식 A-scan 안초음파를 통한 안구길이 및 전방깊이의 측정은 인공수정체 도수를 결정하는 중요한 생체계측장비로 여전히 사용되고 있다.

최근 인공수정체의 도수산출이 보다 정확하다고 알려진 Haigis 공식은 전방깊이를 예측하여 적용하는 다른 공식과는 달리, 실측을 통한 전방깊이를 사용하고 있다. 하지만 접촉식 초음파의 경우 함입에 의해 안구길이 및 전방깊이 측정에 오차가 발생하며,⁶ 특히 이러한 전방깊이의 실측오차는 Haigis 공식에 큰 영향을 주는 것으로 알려졌다.⁷ 기존의 연구에서 이미 이러한 접촉식 안초음파와 IOL Master®를 비교하여 인공수정체 도수 공식의 정확성을 알아보고자 하는 시도가 있어왔다.⁸⁻¹⁰ 그러나 이런 연구는 SRK/T와 같은 3세대 공식 내에서 안초음파와 IOL Master®의 정확성을 비교하는 데 그치는 경우가 많았다.¹⁰⁻¹²

현재에도 IOL Master®로 측정이 불가능한 경우는 접촉식 A-scan 안초음파를 사용하는데, Haigis 공식과 고식적으로 사용되어 온 인공수정체 도수 계산공식들과 정확성을 비교한 연구는 거의 전무하다. 이에 저자들은 백내장 수술 시 인공수정체 도수의 산출 시 접촉식 A-scan 안초음파를 이용하여도 Haigis 공식이 SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q 공식에 비해 여전히 임상적으로 유용한지 알아보고자 한다.

대상과 방법

본원에서 2013년 6월부터 2014년 2월까지 백내장수술을 받은 94명 114안을 대상으로 하였다. 모든 환자에서 수술은 본원의 단일 술자에 의하여 시행되었으며, 인공수정체는 동일하게 C-flex® Aspheric (970C) (Rayner Brighton-Hove, East Sussex, England) 혹은 동종 모델인 Superflex® Aspheric (920H) (Rayner Brighton-Hove, East Sussex, England)을 사용하였다. 망막이나 각막 등 안구에 기저 질환이 있는 경우는 제외하였으며, 유리체절제술 등 기존 안과적 수술을 받은 환자 역시 모두 제외하였다.

생체계측은 Aviso A-scan (Quantel medical, Bozeman, MT)을 이용하여 안구길이(AXL), 전방깊이(ACD)를 측정하였

으며, 비교를 위해 IOL Master® (Carl Zeiss, Jena, Germany)를 사용하여 안구길이, 전방깊이, 각막곡률(K)을 측정하였으며 신호대잡음비(SNR)가 2.1 이하인 경우는 제외하였다. 전방깊이나 각막곡률이 측정되지 않는 경우도 제외하였다. 인공수정체 A상수는 IOL Master® 제조회사(Zeiss)가 제공하는 값을 사용하였다. 기기에 내장된 도수산출 기능을 이용하여 한번은 IOL Master® 측정치 그대로 도수를 구하였으며, 이후 A-scan으로 측정한 AXL과 ACD를 대입하여 다시 한 번 도수를 구하였다.

IOL Master®로 측정한 안구길이에 따라 3군으로 나누었으며, 22.5 mm 미만인 경우를 Group I, 22.5 mm 이상 25.5 mm 미만인 경우 Group II, 25.5 mm 이상인 경우 Group III로 분류하였다. 수술 후 실제 도수와 수술 전 예측치를 비교하기 위하여, 수술 후 1달 뒤에 현성 굴절검사를 시행하고 굴절력(spherical equivalent, SE)을 측정하였다. 수술 전 예측치와 1달 뒤 실제 측정값의 산술적 차이를 실제오차로 정의하였고, 이 실제오차의 절대값을 취하여 평균절대오차(mean absolute error, MAE)를 구하여 각 공식 간에 어떠한 차이가 있는지 비교하였다. 이때 A-scan을 통한 MAE를 MAE_{A-scan}으로, IOL Master®를 통한 MAE를 MAE_{IOLM}으로 정의하였다.

통계적 유의성을 알아보기 위하여 Friedman's test를 시행하여 MAE_{A-scan}에 대해 Haigis, SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q 공식 중 유의한 차이를 보이는 공식이 있는지 알아보았으며, 사후 검정에 Wilcoxon's signed rank test를 유의수준 $p < 0.013$ ($=0.05/4$)에서 사용하여 공식 간의 유의성을 알아보았다. 안구길이에 따른 환자군 내에서 A-scan과 IOL Master®로 측정한 안구길이, 전방깊이의 유의한 차이를 알아보기 위하여 Wilcoxon's signed rank test를 사용하였다. 사후 검정을 제외한 나머지는 유의수준 $p < 0.05$ 를 사용하였으며, 통계 소프트웨어는 SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다.

결 과

총 94명 114안이 포함되었으며, 남자는 29명(30.9%), 여자는 65명(69.1%)였으며, 평균 연령은 66.2 ± 12.5 세였다. 사용된 인공수정체의 도수는 0.0D에서 +28.0D로 평균 18.02 ± 5.85 D였다. IOL Master®로 측정한 AXL은 21.08-35.16 mm이며, 평균 24.57 ± 2.75 mm였고, ACD는 2.17-4.34 mm로 평균 3.24 ± 0.44 mm였으며, 각막곡률은 평균 44.40 ± 1.63 D였다. IOL Master®의 SNR은 6.50-69.50까지로 평균 132.0이었다. A-scan으로 측정한 평균 AXL은 24.40 ± 2.66 mm로 IOL Master®에 비해 통계적으로 유의하게 0.17 mm 짧았으며($p < 0.001$), 평균 ACD는 2.83 ± 0.45 mm로 IOL

Table 1. Patient preoperative demography

	Group I (AXL < 22.5)	Group II (22.5 ≤ AXL < 25.5)	Group III (AXL ≥ 25.5)	Total
No. of eyes	27 (23.7%)	55 (48.2%)	32 (28.1%)	114
Age (years)	71.6 ± 9.0	69.3 ± 7.8	56.2 ± 16.0	66.2 ± 12.5
Implanted IOL power (D)	22.57 ± 1.83	20.26 ± 2.14	10.33 ± 5.08	18.02 ± 5.85
A-scan				
AXL (mm)	22.06 ± 0.41	23.47 ± 0.57	27.95 ± 2.39	24.40 ± 2.66
ACD (mm)	2.63 ± 0.47	2.76 ± 0.31	3.14 ± 0.51	2.83 ± 0.45
IOL Master®				
AXL (mm)	22.16 ± 0.39	23.61 ± 0.58	28.26 ± 2.48	24.57 ± 2.75
ACD (mm)	2.88 ± 0.41	3.15 ± 0.31	3.69 ± 0.30	3.24 ± 0.45
Keratometry (D)	45.83 ± 1.29	44.08 ± 1.38	43.75 ± 1.59	44.40 ± 1.63
p-value [†]				
AXL	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*
ACD	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated; Group: Classification of patients was based on the IOL Master® measurements. AXL = axial length; IOL = intraocular lens; D = diopter; ACD = anterior chamber depth.

*Statistically significant; [†]Wilcoxon's signed rank test between A-scan & IOL Master® measurement.

Master®에 비해 통계적으로 유의하게 0.41 mm 짧았다($p<0.001$) (Table 1).

안구길이가 22.5 mm 미만인 Group I은 27안(23.7%)이었으며, 평균연령은 71.6 ± 9.0 세였으며, 사용된 인공수정체의 평균 도수는 22.57 ± 1.83 D였다. IOL Master®로 측정된 평균 AXL은 22.16 ± 0.39 mm, 평균 ACD는 2.88 ± 0.41 mm, 평균 K는 45.83 ± 1.29 D이었다. A-scan으로 측정된 평균 AXL은 22.06 ± 0.41 mm, 평균 ACD는 2.63 ± 0.47 mm였다. AXL 및 ACD는 A-scan 측정치가 각각 0.10 mm, 0.25 mm 짧았으며, 모두 통계적으로 유의하였다($p<0.001$, $p<0.001$) (Table 1).

안구길이 22.5 mm 이상 25.5 mm 미만인 Group II는 55안(48.2%)이었으며, 평균연령은 69.3 ± 7.8 세였으며, 사용된 인공수정체의 평균 도수는 20.26 ± 2.14 D였다. IOL Master®로 측정된 평균 AXL은 23.61 ± 0.58 mm, 평균 ACD는 3.15 ± 0.31 mm, 평균 K는 44.08 ± 1.38 D이었다. A-scan으로 측정된 평균 AXL은 23.47 ± 0.57 mm, 평균 ACD는 2.76 ± 0.31 mm였다. AXL 및 ACD는 A-scan 측정치가 각각 0.14 mm, 0.39 mm 짧았으며, 모두 통계적으로 유의하였다($p<0.001$, $p<0.001$) (Table 1).

안구길이 25.5 mm 이상인 Group III은 32안(28.1%)이었으며, 평균연령은 56.2 ± 16.0 세였으며, 사용된 인공수정체의 평균 도수는 10.33 ± 5.08 D였다. IOL Master®로 측정된 평균 AXL은 28.26 ± 2.48 mm, 평균 ACD는 3.69 ± 0.30 mm, 평균 K는 43.75 ± 1.59 D이었다. A-scan으로 측정된 평균 AXL은 27.95 ± 2.39 mm, 평균 ACD는 3.14 ± 0.51 mm였다. AXL 및 ACD는 A-scan 측정치가 각각 0.31 mm, 0.55 mm 통계적으로 유의하게 짧았다($p<0.001$, $p<0.001$).

또한 AXL와 ACD는 안구길이가 긴 Group III에서 편차가 커지는 경향이 있었다(Table 1).

A-scan과 IOL Master® 사이의 예측 인공수정체 도수의 정확도를 비교하기 위하여, MAE_{A-scan} 과 MAE_{IOLM} 을 환자군별로 비교하였다. Group I에서 MAE_{A-scan} 과 MAE_{IOLM} 이 유의하게 달랐던 공식은 SRK/T이었으며, MAE_{IOLM} 이 MAE_{A-scan} 보다 더 작았다($p=0.007$). Haigis, Holladay 1, Hoffer Q 공식도 모두 MAE_{IOLM} 이 MAE_{A-scan} 보다 작았으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다($p_{Haigis}=0.572$, $p_{Holladay}=0.064$, $p_{HofferQ}=0.068$). Group II에서는 모든 공식에서 MAE_{IOLM} 이 MAE_{A-scan} 보다 통계적으로 유의하게 작았다($p_{Haigis}=0.001$, $p_{SRK/T}<0.001$, $p_{Holladay}<0.001$, $p_{HofferQ}<0.001$). Group III에서는 모든 공식에서 MAE_{A-scan} 과 MAE_{IOLM} 이 유의한 차이를 보이지 않았다($p_{Haigis}=0.806$, $p_{SRK/T}=0.232$, $p_{Holladay}=0.199$, $p_{HofferQ}=0.063$) (Table 2).

A-scan으로 구한 MAE_{A-scan} 을 각 공식별로 비교하기 위해, Friedman's test를 통하여 전체 공식 간의 유의한 차이를 검정하였다. Group I과 Group II에서 각각 $p<0.001$, $p<0.001$ 로 유의한 차이를 보이는 공식이 있음을 나타냈으며, Group III는 $p=0.140$ 으로 공식별 차이가 없었다.

사후 검정으로 Wilcoxon's signed rank test를 유의수준 $p<0.013$ ($=0.05/4$)에서 시행하여 Haigis 공식과 나머지 3개의 공식 간 유의한 차이가 있는지 알아보았다. Group I에서 Haigis 공식은 유일하게 SRK/T 공식과 유의한 차이가 있었으며($p=0.004$), Haigis 공식의 MAE_{A-scan} 이 더 작았다. Group II에서는 Haigis 공식이 다른 모든 공식에 비해 통계적으로 유의하게 MAE_{A-scan} 이 작아 우수한 것으로 나타났다($p<0.001$, $p<0.001$, $p=0.006$, 각각 Haigis-SRK/T, Haigis-Holladay

Table 2. Comparison of IOL power calculation error between A-scan and IOL Master®

	A-scan	IOL Master®	p-value [†]
Group I-MAE (D)			
Haigis	0.80 ± 0.67	0.80 ± 0.88	0.572
SRK/T	1.09 ± 0.77	0.94 ± 0.86	0.007*
Holladay 1	0.94 ± 0.75	0.85 ± 0.80	0.064
Hoffer Q	0.91 ± 0.76	0.88 ± 0.83	0.373
Group II-MAE (D)			
Haigis	0.72 ± 0.55	0.56 ± 0.51	0.001*
SRK/T	1.04 ± 0.58	0.77 ± 0.55	<0.001*
Holladay 1	0.89 ± 0.57	0.65 ± 0.55	<0.001*
Hoffer Q	0.80 ± 0.59	0.57 ± 0.54	<0.001*
Group III-MAE (D)			
Haigis	0.76 ± 1.13	0.85 ± 1.37	0.806
SRK/T	0.86 ± 1.07	0.85 ± 1.28	0.232
Holladay 1	0.74 ± 1.17	0.95 ± 1.41	0.199
Hoffer Q	0.72 ± 1.20	0.95 ± 1.43	0.063

Values are presented as mean ± SD.

IOL = intraocular lens; MAE = mean absolute error; D = diopter.

*Statistically significant; [†]Wilcoxon's signed rank test between A-scan & IOL Master® measurement.

Table 3. IOL power calculation error with various formulas by ultrasound biometry

	MAE A-scan	<i>p</i> -value [†]
Group I		
MAE A-scan (D)		
Haigis	0.80 ± 0.67	-
SRK/T	1.09 ± 0.77	0.004*
Holladay 1	0.94 ± 0.75	0.044
Hoffer Q	0.91 ± 0.76	0.034
Overall <i>p</i> -value [‡]	<0.001*	
Group II		
MAE A-scan (D)		
Haigis	0.72 ± 0.55	-
SRK/T	1.04 ± 0.58	<0.001*
Holladay 1	0.89 ± 0.57	<0.001*
Hoffer Q	0.80 ± 0.59	0.006*
Overall <i>p</i> -value [‡]	<0.001*	
Group III		
MAE A-scan (D)		
Haigis	0.76 ± 1.13	-
SRK/T	0.86 ± 1.07	0.181
Holladay 1	0.74 ± 1.17	0.570
Hoffer Q	0.72 ± 1.20	0.125
Overall <i>p</i> -value [‡]	0.140	

Values are presented as mean ± SD.

IOL = intraocular lens; MAE A-scan = mean absolute error using A-scan; D = diopter.

*Statistically significant; [†]Post-hoc analysis with Wilcoxon's signed rank test between Haigis and other formulas (significant p-value is $p < 0.013$); [‡]Friedman's test among all formulas.

1, Haigis-Hoffer Q). 하지만 Group III에서는 Haigis 공식이 다른 모든 공식에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

안구길이를 1 mm 단위로 구간을 나누어, MAE_{A-scan}을 안

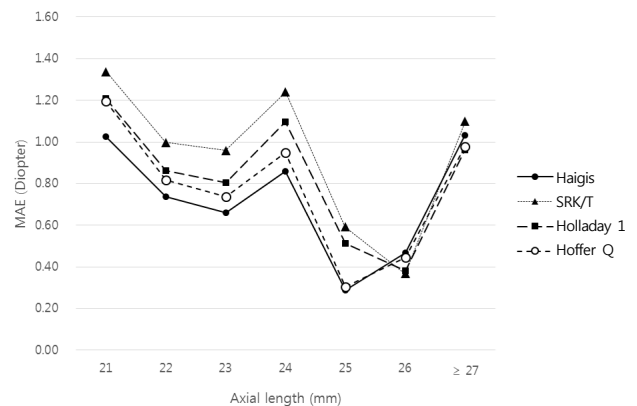


Figure 1. The performance of various intraocular lens (IOL) calculation formulas with ultrasound biometry. MAE = mean absolute error.

구길이에 대해 각 공식별로 도식화하였다. MAE_{A-scan}은 안구길이가 평균수치의 값 근처일수록 작아지고, 짧거나 혹은 길어질수록 커지는 경향이 있었다. 또한 대부분의 구간에서 Haigis 공식이 가장 MAE_{A-scan}이 작아 그래프가 다른 공식에 비해 아래쪽에 위치함을 알 수 있었다(Fig. 1).

전체 114안에서 MAE_{A-scan}을 0.5D 단위로 구간을 나누어, 구간별로 차지하는 빈도를 도식화하였다. MAE_{A-scan}<0.5D 인 경우는 Haigis 공식이 53안(46.5%)으로 가장 많았으며, Hoffer Q에서 43안(37.7%), Holladay 1에서 39안(34.2%), SRK/T에서 33안(28.9%) 순서였다(Fig. 2).

IOL Master®와 A-scan 간의 MAE의 차이의 절대값을 MAE_{diff} = |MAE_{IOLM} - MAE_{A-scan}|으로 정의한 뒤, Haigis 공식에서 MAE_{diff}를 안구길이에 따라 도식화하였다. 즉 MAE_{diff}가 0에 가까울수록 Haigis공식이 IOL Master®와 A-scan 사

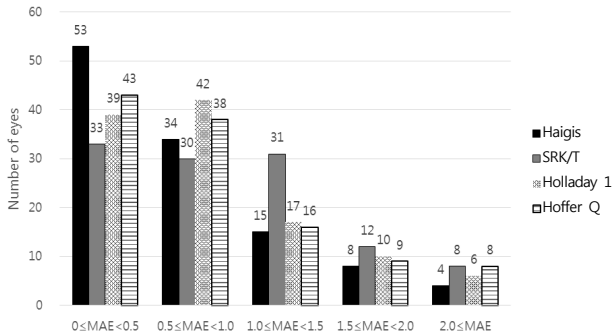


Figure 2. Intraocular lens (IOL) power calculation error using A-scan in the various IOL calculation formulas. MAE = mean absolute error using A-scan (diopter).

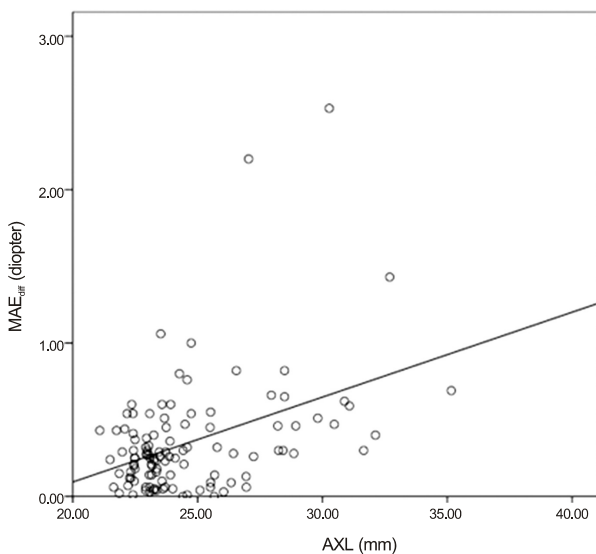


Figure 3. The linear regression analysis of absolute mean absolute error difference between ultrasound and intraocular lens (IOL) Master[®] using Haigis formula (Linear regression model: $R^2 = 0.170$, $p < 0.001$). $MAE_{diff} = |MAE_{A-scan} - MAE_{IOLM}|$; MAE_{A-scan} = mean absolute error of Haigis formula using A-scan; MAE_{IOLM} = mean absolute error of Haigis formula using IOL Master[®]; AXL = axial length.

이에 차이가 없음을 의미한다. 이때 MAE_{diff} 는 평균 안구길이 근처에서 작았고, 안구길이가 길어질수록 커지는 경향을 보여, 선형회귀분석에서 양의 상관관계를 보였다($R^2=0.170$, $p<0.001$) (Fig. 3).

고 찰

본 연구는 IOL Master[®]를 시행할 수 없는 경우, 대안으로 A-scan 측정치로 구한 Haigis 공식이 다른 공식에 비해 여전히 더 정확한지를 검증하기 위해 진행되었다. 그 결과 평균 안구길이에 해당하는 Group II에서 다른 공식에 비해 Haigis 공식이 유의하게 오차가 작은 것으로 나타났다. 또

한 $MAE_{A-scan} < 0.5D$ 인 경우도 Haigis 공식이 53안(46.5%)으로, Hoffer Q에서 43안(37.7%), Holladay 1에서 39안(34.2%), SRK/T에서 33안(28.9%)에 비해 가장 많은 것으로 나타났다. 따라서 A-scan을 이용하더라도 평균 안구길이를 갖는 구간에서 Haigis 공식이 다른 공식에 비해 우수하다고 할 수 있다. 하지만 A-scan으로 구한 Haigis 공식의 정확도는 IOL Master[®]로 구한 값보다는 낮게 측정되었으며, Group II에서는 평균 0.16D 오차가 더 크게 나타났다. 이러한 IOL Master[®] 예측치와의 차이는 평균 안구길이 근처에서 더 작았고, 안구길이가 길어질수록 점차 커졌다.

현재 널리 사용되고 있는 인공수정체 도수 계산공식은 2세대 공식인 SRK II와 3세대 공식인 SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q 그리고 4세대 공식 Haigis 등이 있다. 2세대 공식에 비해 3세대 공식은 환자의 안구 길이와 각막의 곡률반경에 기초하여 인공수정체 도수 계산에 있어서 가장 중요한 인자인 전방깊이(Pseudophakic ACD)의 정확한 예측에 초점을 맞추고 연구된 것이다.¹³

실측에 기초한 전방깊이를 사용하는 Haigis 공식은 다른 3세대 공식에 비해 정확한 것으로 알려졌다.¹⁴ 접촉식 안초음파의 경우 함입으로 인하여 침식식 초음파에 비하여 0.1-0.3 mm 정도의 오차가 발생한다고 밝혀져 있으며,⁶ 이러한 실측 오차는 전방깊이에서 더욱 문제가 된다. 왜냐하면 전방깊이는 안구길이(AXL)보다 길이가 짧으므로, 같은 양의 함입에 의한 오차라도 차지하는 비중이 훨씬 크다. 따라서 이는 안구길리와 같은 다른 측정치를 바탕으로 전방깊이를 추정하는 3세대 공식들에 비해 Haigis 공식이 오히려 더 부정확해질 수도 있음을 시사한다.

Yi et al⁷은 안구길리와 전방깊이가 Haigis 공식에 미치는 영향을 연구하였으며, Haigis, SRK/T, Hoffer Q, Holladay 1 공식을 서로 비교하였다. 이때 안구 길이에 따른 Haigis 공식의 정확성은 다른 인공수정체 도수 계산공식들과 통계적으로 유의한 차이는 없었으나, 전방 깊이에 따른 Haigis 공식은 전방 깊이가 작을 때 통계적으로 유의하게 부정확하게 나타났다. 따라서 Haigis 공식의 예측 값이 다른 인공수정체 도수 계산공식의 예측 값과 차이가 크면, 전방 깊이 측정 오류로 발생한 차이를 고려해야 한다고 하였다.⁷

그러나 현재에도 널리 사용되고 있는 A-scan을 이용하여 Haigis 공식과 다른 공식을 비교한 연구는 국내에서는 아직 보고가 없다. Hwang and Lee¹²는 96안의 연구에서 접촉식 초음파로 예측한 굴절력이 IOL Master[®]로 예측한 값에 비해 정확성이 떨어지지 않는다고 밝혔다. 그러나 이 연구는 SRK/T 공식에 대해서만 이루어졌으며, 다른 공식과의 비교가 없다. Kim et al¹⁵에 의한 266안의 연구에서는 초음파 측정치, IOL Master[®] 측정치를 통한 SRK/T, Hoffer Q,

Holladay 1, Haigis 공식의 굴절률 예측의 정확도를 확인하였는데, 각 공식 간 차이보다는 안구길이에 의해 차이가 난다고 하였다. 그러나 이 연구는 초음파 측정치에 대해서는 SRK/T, Hoffer Q 공식만을 사용하였으며, Haigis 공식은 IOL Master® 측정치만을 사용했다는 제한이 있다. Shin and Chung¹¹은 76안의 연구에서 IOL Master®와 A-scan 간에 안구길이 및 전방깊이의 유의한 차이에도 불구하고, 공식의 굴절률 예측에는 차이가 없다고 하였다. 하지만 이 연구 역시 SRK/T 단일 공식만을 사용하였으며, 다양한 공식과의 비교가 없다는 한계가 있다.

Bhatt et al³은 그의 공식을 발표한 이후 103안을 대상으로 침수식 안초음파와 IOL Master® 두 가지 방법으로 구한 인공수정체 도수의 차이를 비교하였다. 그 결과 IOL Master®를 이용한 Haigis 공식은 침수식 안초음파를 이용하였을 때와 차이가 없다고 하였다. 그러나 이 연구는 Haigis 공식에 국한되었으며, 침수식 안초음파를 사용하였기에 함입에 의한 오차가 발생하는 접촉식 안초음파와는 다소 차이가 있다. Eleftheriadis⁹는 접촉식 안초음파와 IOL Master® 사이의 정확성을 비교하였으나, 2-3세대 공식인 Holladay 1, SRK/T, SRK II, Hoffer Q 간의 비교여서 Haigis 공식에 대한 언급이 없다.

전방깊이를 측정하는 다른 방법으로 Pentacam, Visante OCT, Slit-lamp OCT 등을 비교 연구한 결과가 있다.¹⁶ 이러한 비접촉식 광학장비들은 전방깊이 측정에 있어 좋은 재연성을 보였으나, 측정치는 장비마다 유의한 차이가 있게 나타났다. 따라서, 향후에는 이런 관점에서 다양한 장비를 통해 얻어진 전방깊이에 대해서도 많은 증례를 대상으로 Haigis 공식의 유용성에 대한 비교연구가 필요할 것으로 생각한다.

본 연구는 다른 연구에 비해 각막질환, 망막질환, 기존 수술력이 있는 환자를 모두 배제하였기에 공식 자체의 정확성 외에 다른 인자가 개입될 가능성이 낮은 장점을 갖고 있다. 본 연구는 대상군이 모두 1명의 술자에 의해서 백내장 수술이 시행되었고, 인공수정체도 같은 제조사의 동종 모델 2가지만을 사용하였기에 Holladay et al¹⁷이 언급한 술자인자(surgeon factor, SF)나 렌즈 상수에 따른 차이의 영향을 줄일 수 있어 오차는 공식의 정확성에 크게 의존한다고 생각한다.

결론적으로 IOL Master®를 사용할 수 없는 경우, 접촉식 초음파를 사용하여 구한 Haigis 공식의 예측치는 평균 안구길이를 가지는 환자에서 다른 SRK/T, Hoffer Q, Holladay 공식에 비해 통계적으로 유의하게 가장 정확하였으며, IOL

Master®에 비해서는 평균 0.16D 오차가 더 크게 나타나지만 임상적으로 인공수정체 도수를 산출하는 데 큰 의미는 없다고 생각한다.

REFERENCES

- 1) Olsen T. Prediction of intraocular lens position after cataract extraction. *J Cataract Refract Surg* 1986;12:376-9.
- 2) Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 1992;18:125-9.
- 3) Bhatt AB, Scheffer AC, Feuer WJ, et al. Comparison of predictions made by the intraocular lens master and ultrasound biometry. *Arch Ophthalmol* 2008;126:929-33.
- 4) Choi J, Choi SK. Accuracy of intraocular lens power calculation in diabetic patients. *J Korean Ophthalmol Soc* 2010;51:188-94.
- 5) Tehrani M, Krummenauer F, Blom E, Dick HB. Evaluation of the practicality of optical biometry and applanation ultrasound in 253 eyes. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:741-6.
- 6) Giers U, Epple C. Comparison of A-scan device accuracy. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:235-42.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Eleftheriadis H. IOLMaster biometry: refractive results of 100 consecutive cases. *Br J Ophthalmol* 2003;87:960-3.
- 10) 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.
- 11) Shin JA, Chung SK. Comparison of the refractive results measured by ultrasound and partial coherence interferometers. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:723-7.
- 12) Hwang JS, Lee JH. Comparison of the IOL Master® and A-scan ultrasound: refractive results of 96 consecutive cases. *J Korean Ophthalmol Soc* 2007;48:27-32.
- 13) Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:700-12.
- 14) Haigis W. The Haigis formula. In: Shammas HJ, ed. *Intraocular lens power calculations*. Thorofare, NJ: Slack Inc.; 2004;5-57.
- 15) Kim BH, Wee WR, Kim MK. Analysis of factors that influence on accuracy of intraocular lens power calculation. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:173-81.
- 16) Dinc UA, Gorgun E, Oncel B, et al. Assessment of anterior chamber depth using Visante optical coherence tomography, slitlamp optical coherence tomography, IOL Master, Pentacam and Orbscan II. *Ophthalmologica* 2010;224:341-6.
- 17) 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.

= 국문초록 =

접촉식 안초음파를 이용한 하기스 공식의 임상적 유용성

목적: 접촉식 안초음파로 측정된 생체계측인자를 이용하여 다양한 인공수정체 도수 산출공식들과 하기스 공식을 비교하여 임상적인 유용성을 알아보고자 한다.

대상과 방법: 본원에서 백내장 수술을 받은 94명 114안을 대상으로 안구 길이에 따라 <22.5 mm를 Group I, 22.5 mm 이상 25.5 mm 미만을 Group II, ≥25.5 mm를 Group III로 분류하였다. A-scan과 IOL Master를 이용하여 안구길이, 전방깊이를 측정하여 수술 전 인공수정체 도수의 예측치를 구하였다. 수술 후 한 달 뒤 현성굴절검사를 시행하여 예측치와의 평균절대오차(MAE)를 구하여 Haigis, SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q 공식별로 비교하였다.

결과: A-scan 접촉식 초음파의 MAE는 Group I에서 Haigis가 $0.80 \pm 0.67D$ 로 SRK/T에 비해 통계적으로 유의하게 작았으나, 그 외 공식과는 차이가 없었다. Group II는 Haigis가 $0.72 \pm 0.55D$ 로 통계적으로 유의하게 가장 오차가 작았다. Group III는 Haigis가 $0.76 \pm 1.13D$ 로 다른 공식과 유의한 차이는 없었다. IOL Master의 MAE와 비교 시 Haigis 공식은 평균 0.16D 높게 측정되었고, 평균 안구길이에 가까울수록 오차가 작았다.

결론: 22.5-25.5 mm의 안구길이를 갖는 환자에서 A-scan 접촉식 안초음파를 사용하여도 SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q 공식에 비해 Haigis 공식이 가장 정확하게 인공수정체도수를 예측하기에 임상적 유용성이 높게 나타났다.

〈대한안과학회지 2014;55(12):1793-1799〉
