

짧은 안축장의 환자에서 각막곡률의 정도에 따른 인공수정체도수 산출 공식의 정확성 분석

Accuracy of Intraocular Lens Power Calculations According to Corneal Curvature in Short Eyes

오정재 · 최진석

JeongJae Oh, MD, Jin Seok Choi, MD, PhD

새빛안과병원

Department of Ophthalmology, Saevit Eye Hospital, Goyang, Korea

Purpose: To evaluate the accuracy of intraocular lens (IOL) power calculations between Hoffer Q and other formulas according to corneal curvature by comparing the results of cataract surgery and calculation of chosen formulas in short axial lengths.

Methods: We performed a retrospective analysis of patients who underwent cataract surgery from January 1st, 2012 to June 12th, 2012. The patients were selected if their axial length was below 23.00 mm and 77 patients (90 eyes) were included in the present study. The patients were divided into 2 groups according to mean corneal curvature below 44.0 D and over 45.0 D. IOL power was calculated using the Hoffer Q and SRK II, SRK-T and Holladay I formulas and the error between the calculations and refractive outcome of cataract surgery were measured. The accuracy of each formula was evaluated by comparing the error between the 2 groups.

Results: Hoffer Q formula showed a higher predictive accuracy than other formulas regardless of corneal curvature in eyes with short axial lengths ($p < 0.001$, $p = 0.023$). Particularly, SRK II, SRK-T and Holladay I showed a lower predictive accuracy in eyes with flat corneal curvature than Hoffer Q ($p < 0.001$, $p = 0.215$).

Conclusions: In eyes with short axial lengths, preoperative predicted IOL power calculations showed better accuracy with Hoffer Q formula than SRK II, SRK-T and Holladay I formulas. SRK II, SRK-T and Holladay I formulas showed a lower predictive accuracy in flat corneal curvature eyes than steep corneal curvature eyes with short axial lengths. We hypothesize that SRK II, SRK-T and Holladay I tend to underestimate effective lens position in eyes with short axial lengths indicating Hoffer Q formula is more accurate.

J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(6):826-832

Key Words: Corneal curvature, Formula, Hoffer Q, IOL calculation, Short eye

백내장 수술에 있어서 환자의 만족도에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 요인으로 들 수 있는 것은 수술 후의 정확한

굴절력에 대한 예측이라 할 수 있다. 최근 백내장 수술 기법 및 기구의 발달과 함께 다양한 인공수정체의 발전과 더불어 환자들의 수술 후 시기능에 대한 기대치가 높아짐에 따라 그 중요성이 더욱 강조되고 있다. 수술 후 원하는 굴절력을 얻기 위해서는 인공수정체 도수 선택을 정확하게 하는 것이 가장 중요하다 할 수 있는데, 이를 위해 필요한 요소로는 안축장, 각막굴절력 및 전방깊이 등과 같은 안구생체계측의 정밀한 측정, 적절한 인공수정체 도수계산 공

■ Received: 2013. 9. 28. ■ Revised: 2014. 1. 24.

■ Accepted: 2014. 5. 23.

■ Address reprint requests to **Jin Seok Choi, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Saevit Eye Hospital, #1065
Jungang-ro, Ilsandong-gu, Goyang 410-817, Korea
Tel: 82-31-900-7700, Fax: 82-31-900-7777
E-mail: zenith716@gmail.com

© 2014 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.

식의 사용, 인공수정체에 대한 정밀한 질 관리 등을 들 수 있겠다.^{1,2}

현재 널리 사용되고 있는 경험적 혹은 이론적 인공수정체 도수 계산공식은 안축장이 23.0 mm에서 25.0 mm까지 인 눈에서는 공식 간의 차이가 크지 않으며 예상굴절력이 대체로 정확하나, 안축장이 이러한 평균적인 범위에서 벗어나 아주 길거나 짧은 경우에는 공식 간의 정확도의 차이가 나타나며 예측도가 떨어진다고 알려져 있다.^{2,7} 이는 통상의 공식에서 가정하고 있는 평균 안축장의 환자에서 보이는 안축장과 전방깊이, 각막곡률 간의 관계가 안축장이 짧거나 긴 눈에서는 잘 적용할 수 없어 공식을 통한 술 전 인공수정체 예측이 정확하지 않기 때문이라 할 수 있다. 또한 근시인 환자에서는 도수 산출 후 예상되는 삽입 인공수정체의 도수가 크지 않기 때문에 예측오차가 술 후 굴절력에 미치는 영향이 적으나 원시인 환자에서는 산출 후 예상되는 인공수정체의 도수가 크기 때문에 술 전 예측오차가 술 후 굴절력에 미치는 영향이 크게 나타날 수 있다.^{8,9} 따라서, 안축장이 평균치에서 벗어나 길거나 짧은 경우, 전방깊이의 예측 등이 평균 안축장에서와 다를 수 있어 이 때문에 발생하는 오차가 실제 술 후 결과에 영향을 미칠 수 있다.

이외에도 안축장이 짧거나 긴 경우에는 술 전 생체계측의 측정 시 오차가 커질 수 있으며, 이에 따라 인공수정체 도수계산의 오류가 생길 수도 있으나, 이와 같은 문제는 기구의 발달과 더불어 점차 개선되고 있다. 그 예로 전통적인 초음파 방식을 이용한 인공수정체 도수 계산 외에도 1990 년대에 부분결합간섭(partial coherence interferometer)의 원리를 도입하여 안축장을 비롯한 생체계측에 보다 간편하고 정밀한 측정이 가능한 IOL Master® (Carl Zeiss, Jena, Germany)가 개발되었으며, 여러 연구에서 안축장, 전방깊이 측정에 있어 정확성과 재현성이 높다고 보고되고 있으며, 검사자의 숙련도에 따른 오차 없이 좋은 결과를 보인다고 하였다.^{10,11}

이렇게 안축장이 길거나 짧은 경우 백내장 수술 후 굴절 오차가 많이 생길 수 있는 경향이 있음에도 불구하고 이에 대한 연구는 부족한 상태로, 특히 안축장이 짧은 안에 대한 국내 연구는 많이 되어 있지 않은 상태이다. 몇 편의 안축장이 짧은 안에 대한 국내 연구를 살펴 보면, 인공수정체 도수계산 시 짧은 안축장에서는 Hoffer Q 공식이 상대적으로 정확한 것으로 보고하고 있다.^{6,7} 그러나, 기존 연구의 경우 단순히 안축장의 길이에 따라 보통의 안축장을 가진 환자군과 짧은 안축장을 가진 환자군을 나누어 각 공식의 정확성을 분석하였거나, 안축장이 짧은 환자군만을 대상으로 연구를 한 경우, 좀 더 짧은 안축장 기준을 추가로 설정하

고, 매우 짧은 군과 짧은 군으로 나누어 분석하거나, 전방깊이에 따라 군을 나눈 뒤 각 공식의 정확성을 분석한 것이 대부분이다.

그러나, 인공수정체 도수 산정 공식에서 매우 중요한 요인으로 안축장과 함께 각막곡률을 들 수 있는데, 이러한 중요한 요소인 각막곡률과 관련한 인공수정체 도수 산출 공식의 정확성에 대한 연구가 안축장이 짧은 눈과 관련하여서는 거의 없는 상태이며, 각막곡률과 각 공식의 계산 인공수정체 도수와의 상관관계 분석을 한 것이 있을 따름이다.⁷ 따라서, 본 연구에서는 지금까지 보편적으로 사용되어 왔던 2, 3세대 공식의 인공수정체 도수산출 공식 연구를 함에 있어 짧은 안축장을 가진 환자에서 각막곡률에 따른 공식의 정확성에 대해 분석해 보고자 하였다. 이에 안축장이 23.0 mm보다 짧은 환자를 대상으로 가파른 각막굴절력과 편평한 각막굴절력을 가진 군으로 나누어 접촉식 초음파 방식을 통해 생체계측을 한 뒤 인공수정체 도수계산에서 SRK-T, Holladay I, SRK II와 Hoffer Q 각각의 계산공식에 따른 예측 굴절력과 술 후의 실제 굴절력을 살펴봄으로써 도수계산 공식의 정확성을 비교하여 보고 그 유용성에 대해 알아보하고자 하였다.

대상과 방법

2012년 1월 1일부터 2012년 6월 12일까지 본원 안과에서 한 명의 동일 술자에 의해 초음파 유화술 및 후방 인공수정체삽입술을 시행 받은 환자 중 안축장이 23.0 mm 미만인 환자 77명 90안을 대상으로 하였다. 기존에 안과적 수술 병력이 없는 환자를 대상으로 하였으며, 백내장 이외에 각막굴절력이나 안축장에 영향을 줄 수 있는 각막이나 망막 이상, 녹내장 등의 안과적 질환이 있는 경우는 제외하였으며, 수술 중 후낭파열이나 초자체탈출 등 합병증이 있어 술 후 굴절상태에 영향을 줄 수 있는 경우도 제외하였다.

백내장 수술 전 검사를 통해서 측정된 접촉성 초음파(E-Z Scan™ AB5500⁺, Sonomed Inc., NY, USA) 결과상 안축장이 23.0 mm 미만인 환자 77명을 대상으로 각막곡률을 측정된 뒤 평균 각막굴절력을 분류 취합하여, 44.0D 이하의 상대적으로 편평한 각막굴절력을 가진 군(I군), 45.0D 이상의 가파른 각막굴절력을 가진 군(II군)으로 나누어 후향적 의무기록 분석을 시행하였다. 술 전에 인공수정체 도수결정을 위해 접촉식 초음파로 안축장을 측정하였으며, 자동 굴절검사계(KR8800, Topcon, Japan)로 각막곡률을 측정하였다. 3가지 종류의 인공수정체 YA-60BBR® (Hoya AF-1, HOYA Co., Tokyo, Japan), AcrySof® NATURAL (SN60AT, Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, Texas, USA), AcrySof®

IQ (SN60WF, Alcon Laboratories Inc., Fort Worth, Texas, USA)를 사용하였으며, 다른 요소의 영향을 배제하고 수술 전 검사 결과에 따라 나온 생체 계측치를 대입하여 SRK-T, Holladay I, SRK II와 Hoffer Q 공식으로 계산한 값 중 정사에서 가장 가까운 근시값을 갖는 인공수정체를 선택하였다. 모든 공식에서 A상수는 제품 고유의 A상수를 이용하였고, 술자요소(surgeon factor)와 전방요소(anterior chamber depth factor, ACD factor)는 본 연구에서 생체계측 시 사용한 접촉성 초음파 기기에 제품 고유의 A상수와 연동되어 설정되어 있는 값으로 산출하였다.

백내장 수술은 동일 술자에 의해 투명각막절개로 백내장 초음파유화술을 시행하고, 인공수정체를 수정체낭 내에 삽입하였다. 수술 후 1주일, 1개월에 걸쳐 추적 관찰하였고, 나안시력, 교정시력, 현성굴절검사, 안압검사 등을 시행하였다. 수술 후 약 1개월에 자동굴절검사계와 현성굴절검사를 시행하였으며, 수술 전 SRK-T, Holladay I, SRK II, Hoffer Q로 산출하여 도출된 수술 전 예상 굴절력의 구면 렌즈 대응치에서 수술 1개월에 측정된 실제 굴절력의 구면 렌즈 대응치를 뺀 수치를 평균 실제오차(mean numeric error, MNE)로 계산하여, 음의 값인 경우 술 전 목표보다 원시화된 것으로, 양의 값인 경우 근시화된 것으로 평가하였다. 또한 실제오차의 절대값을 평균 절대오차(mean

absolute error, MAE)로 계산하여 인공수정체의 도수예측의 정확성을 비교 분석하였다. 통계분석은 SPSS 18.0 version 을 이용하였고, 짧은 안축장에서 각막곡률의 정도에 따른 두 군 간의 대상안의 수, 각막굴절력, 나안시력, 교정시력, 안압, 안축장의 차이가 있는지 student's *t*-test 검정으로 이용해 분석하였으며, 각막곡률에 따른 각 공식들의 정확도 비교는 one way ANOVA를 이용해 분석하였다.

결 과

대상 인원은 77명의 90안으로 환자의 평균 나이는 67.3 ± 5.3 세(49-90세)였으며, 남자가 17명의 22안(24.4%), 여자가 60명의 68안(75.5%)이었다(Table 1). 23.0 mm 미만인 짧은 안축장을 가진 상기 환자를 대상으로 평균 각막굴절력을 기준으로 분류한 결과, 44.0D 이하의 각막굴절력을 가진 군(I군)은 42안이었으며, 45.0D 이상의 각막굴절력을 가진 군(II군)은 48안이였다. I군과 II군의 경우 술 전 나안시력, 교정시력, 안압도 측정하였으나, 두 군 간의 차이는 없었다(Table 2).

I군의 각막굴절력의 경우 편평한 축의 각막굴절력의 평균은 42.54 ± 0.63 D, 가파른 축의 각막굴절력의 평균은 44.36 ± 0.68 D이었으며, 평균 안축장의 길이는 22.52 ± 0.41 mm이었으며, II군의 각막곡률의 경우 편평한 축의 각막굴절력의 평균은 45.25 ± 1.27 D, 가파른 축의 각막굴절력의 평균은 47.68 ± 1.06 D이었으며, 평균 안축장의 길이는 22.73 ± 0.21 mm로 측정되었으며, I군과 II군 사이에 편평한 축의 각막굴절력과, 가파른 축의 각막굴절력에서 서로 유의미한 차이가 있었으며($p=0.01$, $p=0.02$), 평균 안축장 길이는 두 군 간의 차이가 없었다(Table 2).

Table 1. Preoperative demographic characteristics

| Variables | Values |
|--------------------|---------------------------|
| Number of patients | 77 |
| Number of eyes | 90 |
| Age (years) | 67.32 ± 5.36 (49-90) |
| Sex (M:F) | 17 (22 eyes):60 (68 eyes) |

Values are presented as mean \pm SD.

Table 2. Preoperative biometry and target power

| Group | Group I (flatter K group: mean K \leq 44.0) | Group II (steeper K group: mean K \geq 45.0) | <i>p</i> -value* |
|-------------------|--|---|-------------------|
| Number (eyes) | 42 | 48 | |
| Sex (male/female) | 10/27 | 7/33 | 0.12 |
| Flat K (diopter) | 42.54 ± 0.63 | 45.25 ± 1.27 | 0.01 [†] |
| Steep K (diopter) | 44.36 ± 0.68 | 47.68 ± 1.06 | 0.02 [†] |
| UCVA (log MAR) | 0.41 ± 0.04 | 0.32 ± 0.06 | 0.71 |
| BCVA (log MAR) | 0.23 ± 0.06 | 0.27 ± 0.07 | 0.15 |
| IOP (mm Hg) | 15.32 ± 2.32 | 16.54 ± 2.68 | 0.31 |
| Axial length (mm) | 22.52 ± 0.41 | 22.73 ± 0.21 | 0.27 |
| Target power | | | |
| SRK II | -0.67 ± 0.13 | -0.43 ± 0.25 | |
| SRK-T | -0.47 ± 0.24 | -0.24 ± 0.54 | |
| Holladay I | -0.32 ± 0.35 | -0.21 ± 0.36 | |
| Hoffer Q | -0.21 ± 0.18 | -0.14 ± 0.22 | |

Values are presented as mean \pm SD.

K = corneal refractive power; UCVA = uncorrected visual acuity; BCVA = best corrected visual acuity; IOP = intraocular pressure.

*Student's *t*-test; [†] $p < 0.05$.

Table 3. Mean numerical error (MNE) and mean absolute error (MAE) according to intraocular lens power calculation formulas (SRK T, Holladay I, SRK II, Hoffer Q)

| Group | Group I (flatter K group: mean K \leq 44.0) | Group II (steeper K group: mean K \geq 45.0) | p-value [‡] |
|----------------------|--|---|----------------------|
| MNE (diopter) | | | |
| SRK-T | -0.24 \pm 0.16 | -0.32 \pm 0.06 | 0.124 |
| Holladay I | -0.15 \pm 0.06 | -0.22 \pm 0.05 | 0.140 |
| SRK II | -0.55 \pm 0.07 | -0.28 \pm 0.08 | 0.214 |
| Hoffer Q | -0.07 \pm 0.06 | -0.18 \pm 0.05 | 0.140 |
| p-value [*] | <0.001 [†] | 0.215 | |
| MAE (diopter) | | | |
| SRK-T | 0.33 \pm 0.05 | 0.52 \pm 0.05 | 0.104 |
| Holladay I | 0.30 \pm 0.04 | 0.38 \pm 0.04 | 0.214 |
| SRK II | 0.57 \pm 0.65 | 0.39 \pm 0.05 | 0.141 |
| Hoffer Q | 0.20 \pm 0.02 | 0.27 \pm 0.03 | 0.181 |
| p-value [*] | <0.001 [†] | 0.023 [†] | |

Values are presented as mean \pm SD.

K = corneal refractive power.

*ANOVA test; [†]p < 0.05; [‡]Student's t-test.

짧은 안축장 환자에서 각막곡률을 기준으로 분류하여 편평한 각막을 가진 환자군(I군)과 가파른 각막을 가진 환자군(II군)을 대상으로 술 전 측정된 안축장과 각막굴절력을 기준으로 각각의 SRK-T, Holladay I, SRK II, Hoffer Q 공식으로 산출한 수술 전 평가 결과값과 수술 후 1개월 뒤의 측정된 굴절력을 기준으로 계산한 구면렌즈대응치 간의 차이를 살펴보았다. 그 결과, 평균 실제오차(MNE)는 편평한 각막 환자군에서는 각각 -0.24 \pm 0.16D, -0.15 \pm 0.06D, -0.55 \pm 0.07D, -0.07 \pm 0.06D로 모든 공식에서 원시화의 경향을 보였으며, 유의한 결과를 보였으며, Hoffer Q 공식에서 편위가 작았다($p < 0.001$). 평균 절대오차(MAE)는 0.33 \pm 0.05D, 0.30 \pm 0.04D, 0.57 \pm 0.65D, 0.20 \pm 0.02D로 Hoffer Q 공식이 가장 정확하게 술 후 굴절력을 예측하였다($p = 0.001$) (Table 3).

가파른 각막 환자군에서는 평균 실제오차(MNE)는 각각의 공식이 -0.32 \pm 0.06D, -0.22 \pm 0.05D, +0.28 \pm 0.04D, -0.28 \pm 0.08D, -0.18 \pm 0.05D로 모든 공식에서 마찬가지로 원시화의 경향을 보였으나, 유의하지 않았지만 Hoffer Q 공식에서 편위가 가장 작았다($p = 0.215$). 평균 절대오차(MAE)의 경우에는 0.52 \pm 0.05D, 0.38 \pm 0.04D, 0.52 \pm 0.05D, 0.27 \pm 0.03D로 편평한 각막 환자군에서와 마찬가지로 Hoffer Q 공식이 가장 정확하게 술 후 굴절력을 예측하였다($p = 0.023$) (Table 3).

이 결과를 볼 때, 편평한 각막 환자군에서는 평균 실제오차와 평균 절대오차 모두에 있어서 SRK II 공식이 다른 공식에 비해 원시화의 경향이, 정확도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 가파른 각막 환자군에서는 SRK T 공식이 다른 공식에 비해 원시화의 경향이, 정확도가 차이

가 나는 것으로 나타났으며, 두 군 모두에서 Hoffer Q 공식이 원시화의 경향이 가장 적으며 정확도가 높은 것으로 나타났다.

고 찰

정확한 생체계측과 함께 정확한 인공수정체 도수 계산은 술 후 굴절력에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 최근 백내장 수술에 있어서 초음파유화술과 소절개백내장 수술의 보편화로 술 후 난시가 적어짐에 따라 수술 후 원하는 굴절상태에 도달하기 위해 수술 전에 가장 정확한 생체 계측을 하는 것이 중요하게 되었으며, 난시교정용 인공수정체 및 다초점인공수정체, 난시교정과 다초점 기능을 모두 가지고 있는 인공수정체의 개발 등으로 인해 백내장 수술 후 난시 및 근거리 교정도 가능하게 됨에 따라 정확한 생체 계측과 함께 적합한 인공수정체 공식을 통한 정확한 인공수정체 도수 계산의 필요성이 대두되고 있다. 이는 수술 후 굴절상태에 대한 정확한 예측이 환자의 수술 후 만족도에 큰 영향을 미침을 고려해 봤을 때 매우 중요한 것이라 할 수 있을 것이다. 현재 사용되고 있는 대부분의 인공수정체 도수계산 공식은 평균 안축장에서는 대체로 정확하고, 공식 간의 차이가 없는 반면, 안축장이 길거나 짧은 경우에는 예측치가 떨어지며, 공식 간의 차이도 나타난다.²⁻⁷ 이는 인공수정체 도수계산공식에서 안축장과 함께 생체계측치 중에서도 유효한 렌즈 위치(effective lens position, ELP)로 표현되는 술 후 인공수정체의 위치가 중요한 요인으로 작용한다고 생각되는데, 이러한 유효한 렌즈위치(ELP)는 수술 전 직접 측정하여 얻을 수 있는 안축장이나 각막굴절력과는 달리 수

술 전 전방 깊이를 통해 예측해야 하므로 정확하지 않을 경우 술 후 큰 굴절오차를 유발할 수 있다. 최근 생체 계측 기기의 발달로 측정에 따른 오차가 적어지고 있긴 하나, 안축장이 짧거나 긴 경우에는 측정 오차가 발생할 수 있으며, 공식의 정확도도 떨어지게 되어 보다 정확한 도수를 얻기 위해 계산공식들도 시간에 따라 발전하고 있는 상태이다.

인공 수정체의 도수계산공식은 1967년 Fedorov and Kolinko¹²가 기하학적 광학(geometric optics)을 근거로 한 이론적 공식을 발표한 이래로 1980년 안축장과 각막굴절력을 이용하여 술 후 정시안이 될 수 있는 A상수를 각 인공수정체마다 실험적으로 산출한 실험적 공식인 SRK 공식이 발표된 이후 전방깊이와 안축장이 비례하는 선형관계(linear)라는 이론에 기반을 두고 안축장의 길이에 따라 수치를 조정하여 산출함으로써 안축장이 평균을 벗어나 아주 짧거나 길어지게 되면 오차가 커질 수 있었던 2세대 공식을 거쳐 Holladay I 공식¹³ 및 SRK-T 공식,¹⁴ Hoffer Q 공식¹⁵ 등의 3세대 공식으로 발전하였다. 이들 3세대 공식들은 이론적, 경험적 공식의 장점을 함께 가지고 있으며, 평균을 벗어난 안축장과 전방깊이는 곡선(tangent curve) 관계를 보인다고 생각하고, 개개인의 안축장과 각막곡률값에 따른 전방깊이의 변화를 예측하여 인공수정체 도수계산에 정확을 기하려는 공식들로써, 유효한 렌즈위치(ELP)를 단순 상수로 적용한 1세대 공식이나 안축장에 따라 유효한 렌즈위치(ELP)의 보정을 시행한 2세대 공식보다 전방깊이를 중요한 요인으로 고려했으며, 예측정확도는 보고자에 따라 차이는 있으나 우수한 예측도를 보여 수술 후 굴절 오차를 줄이는 것으로 알려졌다.¹⁶⁻¹⁸

하지만 여전히 술 후 굴절 오차는 발생하고 있는데 수술 전후에 안축장과 각막곡률값의 변화는 거의 없고, 연령이나 성별 등도 술 후 굴절 오차에 큰 영향을 주지 않기 때문에 술 후 굴절력 결과의 궁극적인 결정인자는 전방 깊이라고 할 수 있다.¹⁹ 이러한 인공수정체의 위치에 따른 전방 깊이는 실제값과 예측값 사이에 차이가 있을 수 있다.²⁰ 최근 들어 대부분의 새로운 세대의 인공수정체 계산 공식인 Haigis 공식, Olsen 공식 등은 술 후 전방 깊이의 예측 인자로서 안축장보다 술 전 전방 깊이가 더 중요하다는 점을 인식하였고 이를 공식에 사용하였다.²¹⁻²³ 따라서, 술 후 정확한 전방 깊이의 예측이 인공수정체 계산의 예측 오차를 줄일 수 있을 것이라 생각해 볼 수 있다.

특히 짧은 안축장을 가진 환자에서는 수술 전 전방 깊이의 측정오류가 평균 안축장을 가진 환자에서보다 수술 후 굴절오차가 크게 유발하게 되는데, Maeng et al²⁴이 82안의 환자를 대상으로 한 연구에서 안축장이 짧고, 전방 깊이가 얇은 경우 통계적으로 유의하게 큰 굴절오차를 보였다고

보고하였으며, Lee et al²⁵은 전방 깊이가 얇은 환자에서 수술 후 전방 깊이가 예측한 위치보다 더 얇아 굴절오차를 더 크게 유발하였다고 하였다. 따라서, 안축장이 짧은 환자에서 인공렌즈 도수의 예측은 더욱더 중요한 의미를 가진다고 하겠다.

본 연구에서는 안축장이 짧은 눈만을 대상으로 하여 이전에는 고려하지 않았던 각막곡률의 정도에 따라 백내장 수술 시 어떤 공식을 사용하는 것이 더 수술 후 굴절오차를 줄일 수 있는지 Hoffer Q와 SRK-T, Holladay I, SRK II 공식의 정확도 비교를 통해 분석해 보았다. 이를 통해 분석해 본 본 연구 결과에서는, 안축장이 짧은 군에서 인공수정체 도수 계산 산출 방법인 SRK-T, Holladay I, SRK II, Hoffer Q 공식에서 평균 실제오차(MNE)는 편평한 각막 환자군과 가파른 각막 환자군 모두에 있어서 Hoffer Q 공식이 다른 공식들에 비해 원시화의 경향이 적은 것으로 나타났으며, 특히 편평한 환자군에서는 그 공식의 원시화의 경향이 유의미한 차이를 가지고 있었다. 또한 평균절대오차(MAE)는 편평한 각막 환자군과 가파른 각막 환자군 모두에 있어서 Hoffer Q 공식이 더 실제값에 정확한 예측치를 보여 SRK-T, Holladay I, SRK II 공식이 Hoffer Q 공식에 비해 상대적으로 큰 오차를 보였다. 추가적으로 확인할 수 있었던 사항으로는 편평한 각막 환자군에서는 SRK II 공식이 원시화의 경향이나 정확도에서 다른 공식에 비해 낮은 경향이 있었으며, 가파른 각막 환자군에서는 SRK-T가 다른 공식에 비해 유의미하게 차이가 낮았음을 확인할 수 있었다. 이를 통해 보건데, 짧은 안축장을 가진 환자의 경우 평균절대오차(MAE)를 통해 확인할 수 있듯이 가파른 각막 환자군과 편평한 각막 환자군 모두에 있어 Hoffer Q 공식이 가장 정확한 예측을 한다고 판단할 수 있었으며, 평균 실제오차(MNE) 결과에서 알 수 있듯이 가파른 각막 환자군과 편평한 각막 환자군 모두에 있어서 수술 후 모든 공식으로 산출하였던 값보다 원시화하는 경향이 있었으나, Hoffer Q 공식이 가장 원시화하는 경향이 적었으며, 편평한 각막 환자군에서는 다른 공식과 유의미한 차이를 가지고 있어, 안축장이 짧은 환자에서는 SRK-T, Holladay I, SRK II 공식들이 Hoffer Q 공식보다 더욱 부정확할 수 있는 것으로 나타났다.

이는 기존 연구인 Hoffer⁹가 Hoffer Q 공식과 SRK-T, Holladay I, SRK, SRK II 공식 간을 안축장을 보정한 후, 인공수정체 도수와 각막 굴절력과의 관계를 비교하였을 때, 안축장이 짧은 환자에서 각막 굴절력이 낮을수록 각 공식이 계산한 인공수정체 도수의 차이가 커졌으며, SRK-T, Holladay I, Hoffer Q 공식 순으로 점점 높은 도수를 예측하였다고 한 것과 일치한다고 할 수 있다. 이러한 정확도에서

차이가 나는 원인에 대하여 고려해본 연구가 있는 바, Lee et al⁶은 SRK II, SRK-T로 계산 시 실제예측오차가 안축장과 양의 상관관계를 보여 안축장이 짧을수록 원시화 정도가 커지는 것으로 나타났으며, 따라서, 수술 후 원시화를 방지하기 위해서 안축장이 짧은 경우 술 후 굴절력이 근시가 되도록 인공수정체 도수를 결정하는 것이 안전하다고 발표한 바 있다.

이러한 원시화의 경향은 본 연구의 결과를 바탕으로 고려하였을 때, 짧은 안축장을 가진 환자에서는 각막곡률이 더욱 편평한 경우, 이러한 원시화 경향이 더 높게 나타난다고 생각한다. 이는 기존의 Shin et al⁷이 본 연구와 같이 각막곡률에 따라 환자군을 나눠서 분석하지는 않았지만, 짧은 안축장을 가진 환자에서 SRK-T, Holladay I, SRK II, Hoffer Q 공식이 계산한 인공수정체의 도수와 각막 굴절력의 상관관계를 분석하였을 때, 각막 굴절력이 작을수록 원시로의 편위가 커지며, 공식 간의 계산된 도수의 차이가 커졌다는 보고와 일치한다고 할 수 있다. 이러한 결과가 나타나는 것은 SRK-T, Holladay I, SRK II 공식이 Hoffer Q에 비해 유효한 렌즈 위치(ELP)를 저평가함으로써 이러한 경향이 더 보이는 것이 아닌가 생각되며, 이는 편평한 각막곡률을 가진 환자의 경우 실제 전방 깊이가 얇은 경향이 있을 수 있으며, 가파른 각막곡률을 가진 환자의 경우 실제 전방 깊이가 깊은 경향이 있을 수 있다는 것을 생각해 본다면, 더 설명이 잘 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 실제 전방 깊이를 측정하지 못하여 이에 대한 결과가 나타난 이유에 대해 실제적인 평가를 하지 못한 점이 한계가 있으며, 추후 이에 대한 연구가 필요할 것이라 생각한다. 결론적으로, 짧은 안축장을 가진 환자에서 백내장 수술 시 인공수정체 도수를 결정할 때 평균 안축장의 환자보다 각막 굴절력에 따른 술 후 굴절 오차가 커질 수 있기 때문에 보다 신중한 인공수정체 선택이 필요하며, 특히 가파른 각막곡률을 가진 경우보다 편평한 각막곡률을 가진 경우 SRK-T, Holladay I 공식이 Hoffer Q 공식보다 유효한 렌즈 위치(ELP)를 저평가하여 원시화의 경향이 더 크게 나타나 오차가 크게 나타난다. 따라서, 가파른 각막곡률을 가진 경우에도 Hoffer Q 공식을 선택하는 것이 좋으나, 편평한 각막곡률을 가진 경우에는 더욱더 정확한 수술 후 굴절력을 예측하는 Hoffer Q 공식을 선택하는 것이 바람직할 것이라 생각한다.

REFERENCES

- 1) Holladay JT, Prager TC, Ruiz RS, et al. Improving the predictability of intraocular lens power calculations. Arch Ophthalmol 1986;104:539-41.

- 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) Holladay JT, Gills JP, Leidlin J, Cherchio M. Achieving emmetropia in extremely short eyes with two piggyback posterior chamber intraocular lenses. Ophthalmology 1996;103:1118-23.
- 4) Olsen T, Corydon L, Gimbel H. Intraocular lens power calculation with an improved anterior chamber depth prediction algorithm. J Cataract Refract Surg 1995;21:313-9.
- 5) Drews RC. Reliability of lens implant power formulas in hyperopes and myopes. Ophthalmic Surg 1988;19:11-5.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) MacLaren RE, Sagoo MS, Restori M, Allan BD. Biometry accuracy using zero- and negative-powered intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2005;31:280-90.
- 9) Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. J Cataract Refract Surg 1993;19:700-12.
- 10) Hitzengerger CK. Optical measurement of the axial eye length by laser Doppler interferometry. Invest Ophthalmol Vis Sci 1991;32:616-24.
- 11) Drexler W, Findl O, Menapace R, et al. Dual beam optical coherence tomography: signal identification for ophthalmologic diagnosis. J Biomed Opt 1998;3:55-65.
- 12) Fedorov SN, Kolinko AI. A method of calculating the optical power of the intraocular lens. Vestn Oftalmol 1967;80:27-31.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. J Cataract Refract Surg 1993;19:700-12.
- 16) 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.
- 17) Kim HJ, Kim HJ, Joo CK. Comparison of IOL Master, A-scan and Orbscan II for measurement of axial length and anterior chamber depth. J Korean Ophthalmol Soc 2003;44:1519-27.
- 18) McEwan JR, Massengill RK, Friedel SD. Effect of keratometer and axial length measurement errors on primary implant power calculations. J Cataract Refract Surg 1990;16:61-70.
- 19) Drexler W, Findl O, Menapace R, et al. Dual beam optical coherence tomography: signal identification for ophthalmologic diagnosis. J Biomed Opt 1998;3:55-65.
- 20) Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 1992;18:125-9.
- 21) Haigis W. The Haigis Formula. In: Shammas HJ, ed. Intraocular lens power calculations. Thorofare, NJ: SLACK Incorporated, 2004; chap. 5.
- 22) Olsen T, Olesen H, Thim K, Corydon L. Prediction of postoperative intraocular lens chamber depth. J Cataract Refract Surg 1990;16:587-90.

- 23) Olsen T, Corydon L, Gimbel H. Intraocular lens power calculation with an improved anterior chamber depth prediction algorithm. J Cataract Refract Surg 1995;21:313-9.
- 24) Maeng HS, Ryu EH, Chung TY, Chung ES. Effect of anterior chamber depth and axial length on refractive error after intraocular lens implantation. J Korean Ophthalmol Soc 2010;51:195-202.
- 25) 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.

= 국문초록 =

짧은 안축장의 환자에서 각막곡률의 정도에 따른 인공수정체도수 산출 공식의 정확성 분석

목적: 짧은 안축장에서 백내장 수술 시 각막곡률에 따라 정확도에 차이가 나는지 Hoffer Q 공식과 다른 공식들의 산출값을 수술 후 결과와 비교하여 정확성을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 2012년 1월 1일부터 6월 12일까지 한 명의 술자에게 백내장 수술을 받은 대상 중에서 안축장 23.0 mm 미만인 환자 77명 (90안)을 대상으로 평균 각막굴절력을 기준으로 44.0D 이하와 45.0D 이상의 두 군으로 분류 취합하여 후향적 연구를 하였으며, SRK II, SRK-T, Holladay I과 Hoffer Q 공식을 통해 인공수정체도수 결정 후 예상굴절력과 수술 후 실제굴절력 간 오차를 분석하여 정확성을 분석하였다.

결과: 짧은 안축장 눈에서 각막곡률과 무관하게 Hoffer Q가 SRK II, SRK-T, Holladay I보다 정확한 예측치를 보였으며($p < 0.001$, $p = 0.023$), 각막곡률이 가파른 경우보다 편평한 경우 SRK II, SRK-T, Holladay I 공식이 Hoffer Q 공식보다 실제굴절력과 비교해 더 부정확한 결과를 나타내었다($p < 0.001$, $p = 0.215$).

결론: 짧은 안축장을 가진 환자에서 인공수정체 도수계산 시 Hoffer Q가 다른 공식보다 정확하였고, 편평한 각막에서는 SRK II, SRK-T, Holladay I 공식이 Hoffer Q 공식보다 유효한 렌즈 위치(Effective lens position, ELP)를 저평가하여 산정함으로써 원시화하는 경향이 커서, 오차가 더 나타나므로, 이러한 경우에는 Hoffer Q 공식이 더 정확한 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2014;55(6):826-832〉
