

토폴라이저 바리오를 이용한 각막굴절력검사의 신뢰도 연구

Clinical Reliability of the Topolyzer Vario Instrument for Measurement of Corneal Refractive Power

설동현¹ · 전익현¹ · 이형근² · 김응권¹ · 서경률¹ · 김태임¹

Dongheon Surl, MD¹, Ikhyun Jun, MD, PhD¹, Hyung Keun Lee, MD, PhD², Eung Kweon Kim, MD, PhD¹,
Kyoung Yul Seo, MD, PhD¹, Tae Im Kim, MD, PhD¹

연세대학교 의과대학 세브란스병원 안과학교실 시기능개발연구소¹, 연세대학교 의과대학 강남세브란스병원 안과학교실 시기능개발연구소²

*The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine¹, Seoul, Korea
The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine², Seoul, Korea*

Purpose: To evaluate the clinical reliability of the Topolyzer Vario (Wavelight-Alcon, Erlangen, Germany), we compared three different corneal topographers in terms of corneal refractive power.

Methods: The medical records of patients who visited Severance Hospital for corneal refractive surgery were retrospectively reviewed. Keratometric data of patients who underwent evaluations using the Pentacam HR (Oculus, Wetzlar, Germany), ORBscan II (Bausch & Lomb, Rochester, NY, USA), and Topolyzer Vario instruments on the same day were obtained. Flat keratometry (K_f), steep keratometry (K_s), mean keratometry (K_m), astigmatism keratometry (K_{astig}), Cartesian astigmatism (J_0), and oblique astigmatism (J_{45}) values were calculated. The measurement values of the three devices were subjected to Pearson's correlation analysis and repeated measures analysis of variance (with Bonferroni correction); a Bland-Altman plot was also created.

Results: The keratometric data of 80 eyes were included in the analysis and all of the keratometric measurements obtained by the three devices showed significant correlations, i.e., good agreement. The K_f and K_m measurements of the Pentacam HR were flatter than those of the ORBscan II, and the K_f , K_m , K_s , and J_{45} measurements were flatter than those of the Topolyzer Vario. However, there was no significant difference in keratometric values between the ORBscan II and Topolyzer Vario. Furthermore, the difference in corneal refractive power between the Pentacam HR and Topolyzer Vario was not clinically significant.

Conclusions: When measuring the corneal refractive power of patients without any history of corneal disorder or ocular surgery, the Topolyzer Vario is a clinically reliable device that shows similar performance to the ORBscan II and Pentacam HR.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(8):882-889

Keywords: Corneal refractive power, Keratometry, Topographer, Topolyzer vario

■ Received: 2019. 11. 6. ■ Revised: 2019. 12. 26.

■ Accepted: 2020. 7. 29.

■ Address reprint requests to **Tae Im Kim, MD, PhD**
Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology,
Severance Hospital, #50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul
03722, Korea
Tel: 82-2-2228-3574, Fax: 82-2-312-0541
E-mail: tikim@yuhs.ac

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

각막은 전체 굴절력의 약 70%를 차지하는 중요한 구조로, 각막굴절력의 정확한 측정은 굴절교정수술 및 백내장 수술 시 수술 후 시력을 예측 가능하게 하며, 부정형 난시, 원추각막, 각막확장증을 비롯한 각종 각막 질환의 진단에 매우 중요하다. 그러나 실제 임상에서 측정되는 각막굴절력값은 이상적인 각막굴절력값과는 차이가 있어, 이 차이를 최소화하기 위한 다양한 기기들을 이용한 측정이 그동

안 시도되어 왔다.¹

지난 약 150여년간 각막굴절력을 측정하기 위해서 Javal-Schiotz 각막곡률계부터 플라스도 원반(placido-disc) 방식을 거쳐 샤임플러그 카메라(scheimpflug camera) 방식에 이르기까지 다양한 방식의 검사법들이 고안되었다. 플라스도 원반 방식은 가장 고전적인 측정 방법임에도 불구하고 그 측정값의 신뢰도가 높아 현재까지 많은 기기들에 적용되고 있다. Topolyzer Vario (Wavelight-Alcon, Erlangen, Germany)가 대표적으로 플라스도 원반 방식을 사용하는 기기이고, ORBscan II (Bausch & Lomb, Rochester, NY, USA)는 틸트 스캔(scanning slit)과 더불어 플라스도 원반 방식을 사용한다. Pentacam HR (Oculus, Wetzlar, Germany)의 경우 플라스도 원반 방식을 사용하지 않고 샤임플러그 카메라 방식을 이용한다.

이전부터 플라스도 원반 방식의 기기들과 샤임플러그 방식의 기기들을 비교 분석한 논문들은 많았으며,^{2,4} 두 가지 방식의 측정값에는 일부 차이가 있어 온전한 상호 호환이 가능하지는 않으나, 일부 보정을 통해 호환이 가능할 것이라고 보고되었다. 지금까지 Pentacam과 ORBscan, Topolyzer 기기의 재현성에 대해서 다른 연구는 많이 있었으며,⁵⁻⁹ 세 기기 모두 임상 적용도에 대해 신뢰도 평가를 거친 상태이나, Topolyzer의 경우 타 기계의 측정치와의 상관 관계에 대한 비교는 많지 않았다.

본 연구에서 다루고 있는 Topolyzer Vario (Wavelight-Alcon)는 이전 모델인 Topolyzer (WaveLight)와 기본적인 각막굴절력 측정 방식은 동일하나, 눈의 움직임을 추적하여 검사가 가능하다는 차이점(eye tracking system)이 있다. 각막 지형도검사시 검사자의 미세한 눈 움직임에 따른 전반적인 각막굴절력 측정값에 차이가 발생할 수 있는데, Topolyzer Vario는 움직이는 눈을 따라서 각막굴절력을 측정함으로써 점들을 보완하였다. 이러한 기능상의 차이로 인해 다른 기기들과의 측정값 비교시 어떠한 차이가 발생하는지 짚고 넘어갈 필요가 있다. Topolyzer Vario는 기존 모델인 Topolyzer와 또 다른 차별점이 있는데, 그것은 바로 측정된 각막 지형도 정보를 레이저 조사기기로 전송할 수 있다는 점이다. Topolyzer Vario로 측정한 각막 지형도 정보는 진단 수준을

넘어 치료에 접목시킬 수 있는 바탕이 되는 정보이기 때문에, Topolyzer Vario의 각막굴절력 측정값의 임상적 신뢰도는 매우 중요하다. 이처럼 Topolyzer Vario의 경우 최근 굴절교정수술 시 레이저 조사 계획을 세우는 데에 중요한 기준이 되는 정보를 제공하고 있음에도 불구하고 상대적으로 해당 기기의 각막굴절력 측정값의 신뢰도에 대해 직접 평가한 연구가 없어 본 연구를 통해 이에 대해서 밝히고자 한다.

대상과 방법

2017년 9월부터 2019년 1월까지 각막굴절교정수술을 위해 본원에 내원한 환자들의 의무기록을 후향적으로 분석하였으며, 이들 중 근시, 난시, 경도의 백내장을 제외한 안과적 질환이 있거나 이전에 안과 수술을 받은 적이 있는 경우는 제외하였다. 각막굴절교정수술 이전 1개월 이내에 본원에 내원하여 같은 날에 Pentacam HR, ORBscan II, Topolyzer Vario를 모두 시행한 환자들만을 대상으로 하였으며, 총 80명의 환자의 우안을 분석하였다. 본 연구는 본원 기관윤리위원회(Institutional Review Board)의 승인하에 진행되었다(승인 번호: 1-2019-0055).

각 측정기기로부터 편평각막곡률(flat keratometry, K_f), 가파른각막곡률(steeep keratometry, K_s), 그리고 평균각막곡률(mean keratometry, K_m) 값을 구하였고, 난시의 크기를 나타내기 위하여 K_f 와 K_s 의 차이인 난시값(astigmatism keratometry, K_{astig})을 얻었으며, 방향을 고려한 난시 분석을 위해 Power vector analysis를 이용하여 계산된 카티지언 난시(Cartesian astigmatism, J_0), 경사난시(Oblique astigmatism, J_{45}) 값을 아래 공식을 바탕으로 계산하였다.^{10,11}

$$J_0 = -\frac{c}{2} \times \cos 2\theta$$

$$J_{45} = -\frac{c}{2} \times \sin 2\theta$$

(where c: $K_f - K_s$, θ = meridian of steep K)

Table 1. Results of mean values of K_f , K_m , K_s , K_{astig} , J_0 , and J_{45} of Pentacam HR, ORBscan II, and Topolyzer Vario

Devices	K_f (D)	K_m (D)	K_s (D)	K_{astig} (D)	J_0 (D)	J_{45} (D)
Pentacam HR	42.30 ± 1.27	43.12 ± 1.43	43.93 ± 1.68	1.62 ± 0.83	0.77 ± 0.44	-0.01 ± 0.21
ORBscan II	42.41 ± 1.21	43.21 ± 1.35	44.02 ± 1.59	1.62 ± 0.81	0.76 ± 0.44	-0.02 ± 0.22
Topolyzer Vario	42.42 ± 1.27	43.25 ± 1.44	44.07 ± 1.69	1.65 ± 0.84	0.78 ± 0.44	-0.05 ± 0.21

Values are presented as mean ± standard deviation.

K_f = flat keratometry; K_m = mean keratometry; K_s = steep keratometry; K_{astig} = astigmatism keratometry; J_0 = cartesian astigmatism; J_{45} = oblique astigmatism.

통계적인 분석은 SPSS v.25.0 for Windows (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하였다. 세 가지 측정 방법 간의 상관성을 보기 위하여 두 기기별로 짝지어 K_f , K_s , K_m , K_{astig} , J_0 , J_{45} 값들의 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 구하였다. 더불어 기기 간 측정값의 차이를

비교하기 위해 두 기기 간 짝지어 측정값 차이의 평균값을 구하였으며, 이를 Bland Altman plot을 통하여 나타내었다. 3가지 기기 간 각 측정값이 유의한 차이를 가지는지 확인하기 위해 Repeated measures analysis of variance with bonferroni correction을 통계적인 분석 방법으로 사용하여

Table 2. Correlation of K_f , K_m , K_s , K_{astig} , J_0 , and J_{45} values among three devices

Variable	Pentacam HR-ORBscan II*	Pentacam HR-Topolyzer Vario*	ORBscan II -Topolyzer Vario*
K_f	0.959	0.982	0.954
K_m	0.969	0.986	0.966
K_s	0.976	0.988	0.974
K_{astig}	0.982	0.984	0.974
J_0	0.968	0.982	0.961
J_{45}	0.692	0.820	0.769

K_f = flat keratometry; K_m = mean keratometry; K_s = steep keratometry; K_{astig} = astigmatism keratometry; J_0 = cartesian astigmatism; J_{45} = oblique astigmatism.

*Pearson correlation coefficient (r) is represented. $p < 0.001$ is observed in every case.

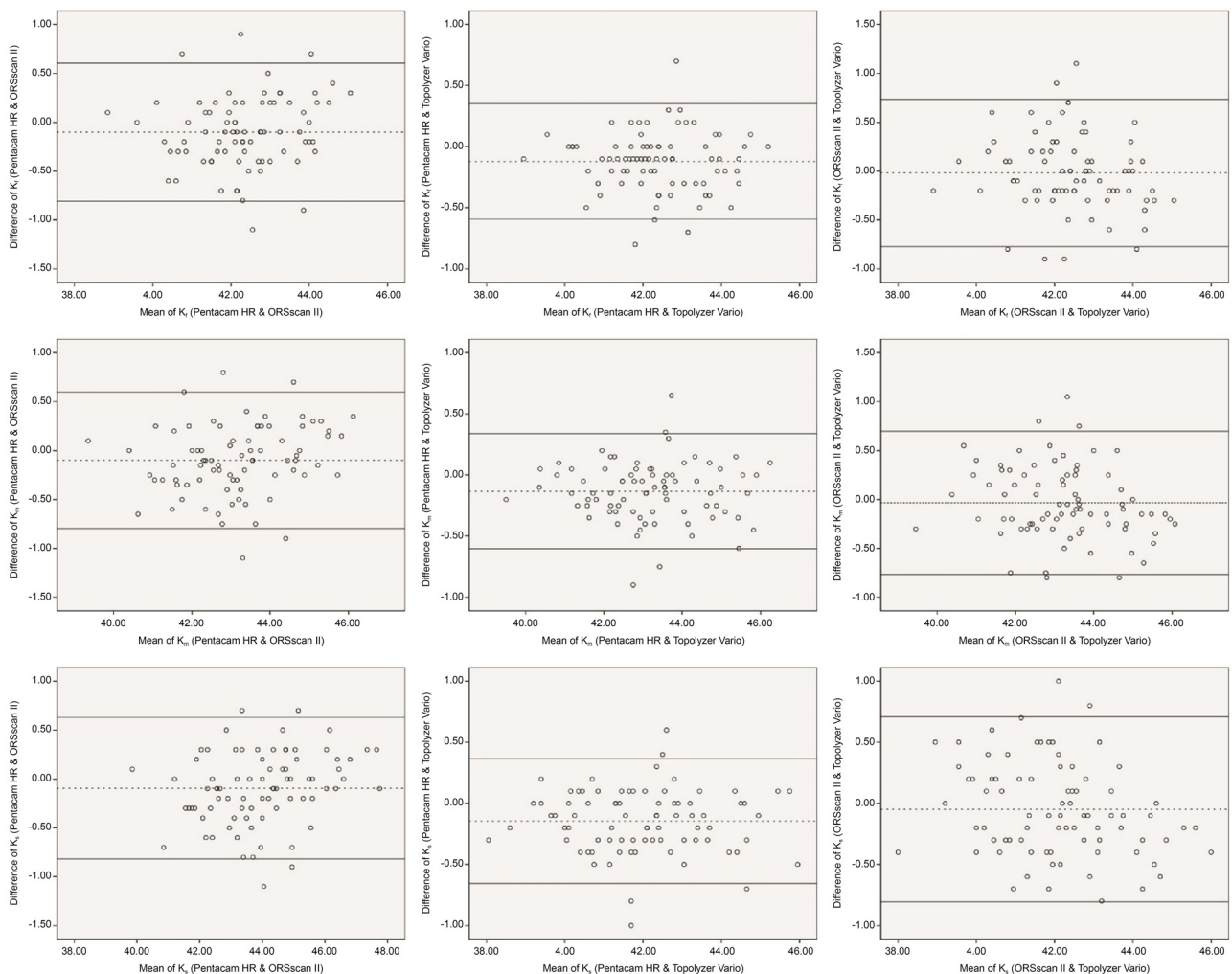


Figure 1. Comparison of flat keratometry (K_f), steep keratometry (K_s), mean keratometry (K_m) values among three devices. Bland Altman plot shows good agreement in K_f , K_s , K_m values.

K_f , K_s , K_m , K_{astig} , J_0 , J_{45} 값들이 기기 간 유의한 차이를 가지는지 확인하였으며, $p < 0.05$ 일 경우 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

결 과

총 80명 중 남자는 44명, 여자는 36명이었고, 평균 연령은 25.35 ± 5.5 세(18-43세)였다. 기기별로 측정된 평균 각막굴절력값(K_f , K_m , K_s)과 난시값을 비교하기 위해 계산된 K_{astig} 값, 그리고 난시 축의 방향을 반영한 벡터성분을 비교하기 위하여 계산된 J_0 , J_{45} 값의 평균값을 Table 1로 정리하였다. Pentacam HR로 측정한 평균 각막굴절력값은 K_f 가 42.30 ± 1.27 diopters (D), K_m 가 43.12 ± 1.43 D, K_s 가 43.93 ± 1.68 D, K_{astig} 가 1.62 ± 0.83 D, J_0 가 0.77 ± 0.44 D, J_{45} 가 -0.01 ± 0.21 D였다. ORBscan II로 측정한 평균 각막

굴절력값은 K_f 가 42.41 ± 1.21 D, K_m 가 43.21 ± 1.35 D, K_s 가 44.02 ± 1.59 D, K_{astig} 가 1.62 ± 0.81 D, J_0 가 0.76 ± 0.44 D, J_{45} 가 -0.02 ± 0.22 D였고 Topolyzer Vario로 측정한 평균 각막굴절력값은 K_f 가 42.42 ± 1.27 D, K_m 가 43.25 ± 1.44 D, K_s 가 44.07 ± 1.69 D, K_{astig} 가 1.65 ± 0.84 D, J_0 가 0.78 ± 0.44 D, J_{45} 가 -0.05 ± 0.21 D였다.

두 가지 기기들을 짝지어 측정 시마다 각막굴절력값에 상관성이 있는지 확인하기 위하여 상관도표(Correlation plot)로 그 상관성을 관찰하고 피어슨 상관계수를 계산하였다(Table 2). 그 결과 피어슨 상관계수(r) 값은 J_{45} 를 제외한 모든 경우에서 0.95 이상으로 매우 강한 양의 상관 관계가 있었으며, J_{45} 의 경우에도 Pentacam HR-ORBscan II 간 $r=0.692$, Pentacam HR-Topolyzer Vario 간 $r=0.820$, ORBscan II-Topolyzer Vario 간 $r=0.769$ 로 관찰되어 양의 상관관계가 있음이 확인되었다. 모든 경우에서 상관 계수는 유의한

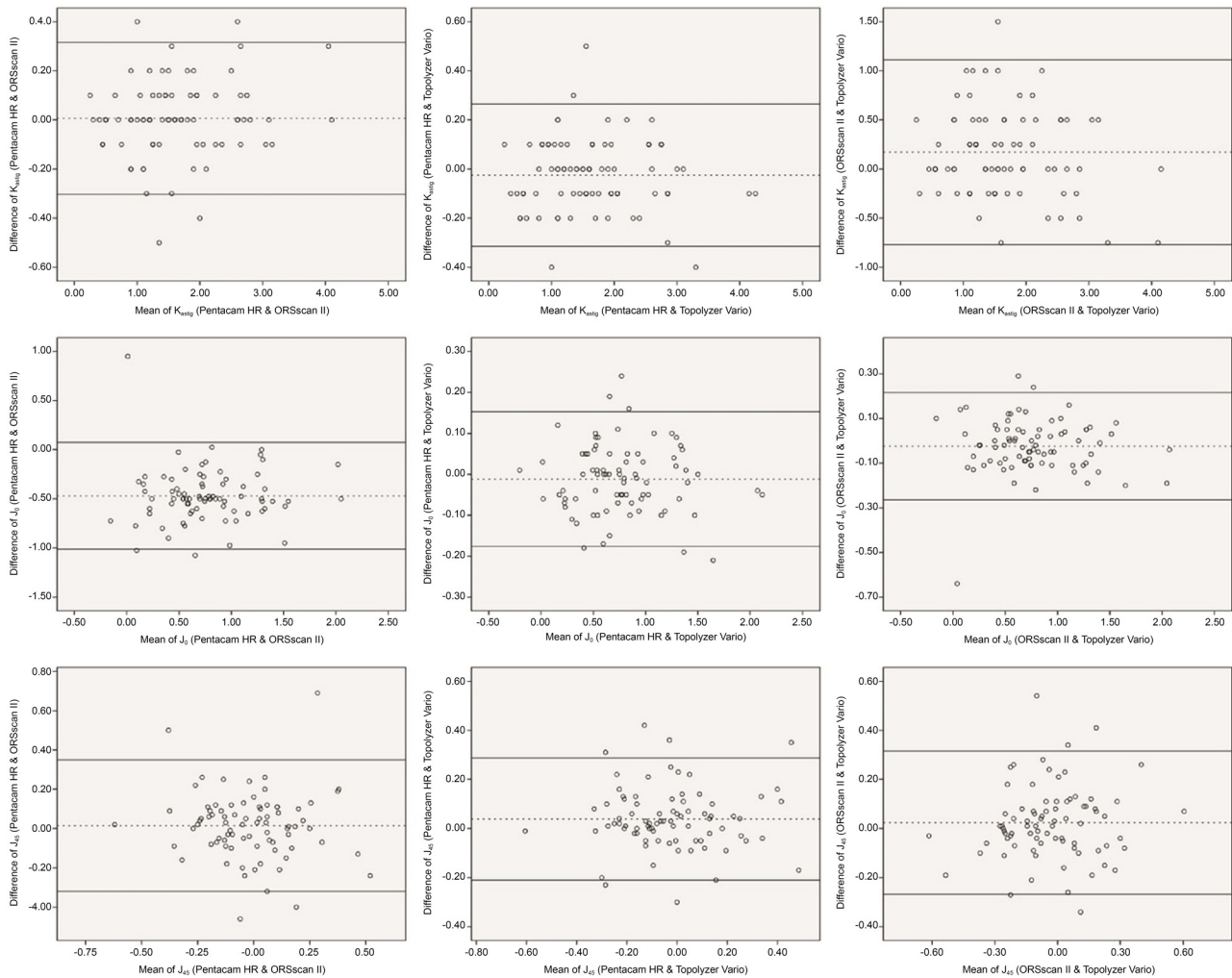


Figure 2. Comparison of astigmatism keratometry (K_{astig}), Cartesian astigmatism (J_0), Oblique astigmatism (J_{45}) values among three devices. Bland Altman plot shows good agreement in K_{astig} , J_0 , J_{45} values.

수준으로 관찰되었다($p < 0.001$).

두 기기 간 개별 측정값들이 어느 정도 일치하는지 확인하고자 각 측정값들의 차이들의 95% limits of agreement (LoA)를 구하여 Bland Altman plot으로 나타내었다(Fig. 1, 2). 나타낸 모든 Bland Altman plot상 산점도는 대부분 오차범위(95% LoA) 내에 존재하며, 어느 경우도 오차범위 바깥에 있는 이상치(outlier)는 총 80개 중 6개를 넘지 않았다. 따라서 Pentacam HR과 ORBscan II 간, Pentacam HR과 Topolyzer Vario 간, ORBscan II와 Topolyzer Vario 간 검사상의 각막굴절력 측정값들은 높은 일치도를 보임을 알 수 있다.

각 기기들 간 각막굴절력에 유의한 차이가 있는지 비교를 위해 두 기기 별로 짝지어 평균 차이를 구한 결과를 표로 나타내었다(Table 3). Pentacam HR과 ORBscan II 사이

에는 K_f 와 K_m 에 있어서 유의한 차이가 관찰되었고(각각 $p = 0.042$, $p = 0.047$), K_s 에 있어서는 유의한 차이가 관찰되지 않았다($p = 0.071$). Pentacam HR과 Topolyzer Vario 간에는 K_f , K_m , K_s 모두에 있어 유의한 차이가 관찰되었고($p < 0.001$), ORBscan과 Topolyzer Vario 간에는 K_f , K_m , K_s 모두에 있어 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

난시량이 고려된 K_{astig} 값과 난시 방향과 크기가 모두 반영된 J_0 , J_{45} 값을 기기 간에 비교하여 표로 나타내었다(Table 4). Pentacam HR과 ORBscan II 간, 그리고 ORBscan II와 Topolyzer Vario 간에는 K_{astig} , J_0 , J_{45} 값에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며 Pentacam HR과 Topolyzer 간에서도 K_{astig} , J_0 값에는 차이가 없었으나 J_{45} 만이 유일하게 의미 있는 차이를 나타내었다($p = 0.023$).

Table 3. Comparison of K_f , K_m , and K_s values among three devices

Devices	Mean difference (D)	95% LoA	<i>p</i> -value*
Pentacam HR-ORBscan II			
K_f	-0.10 ± 0.05	-0.200 to -0.003	0.042
K_m	-0.10 ± 0.05	-0.195 to -0.001	0.047
K_s	-0.09 ± 0.05	-0.196 to 0.006	0.071
Pentacam HR-Topolyzer Vario			
K_f	-0.12 ± 0.03	-0.186 to -0.054	<0.001
K_m	-0.13 ± 0.03	-0.198 to -0.067	<0.001
K_s	-0.15 ± 0.04	-0.216 to -0.074	<0.001
ORBscan II-Topolyzer Vario			
K_f	-0.02 ± 0.05	-0.124 to 0.086	1.000
K_m	-0.03 ± 0.05	-0.136 to 0.068	1.000
K_s	-0.05 ± 0.05	-0.156 to 0.056	0.752

Values are presented as mean \pm standard deviation unless otherwise indicated.

K_f = flat keratometry; K_m = mean keratometry; K_s = steep keratometry; D = diopters; 95% LoA = 95% limits of agreement.

**p*-value from repeated measures analysis of variance with bonferroni correction is represented.

Table 4. Comparison of K_{astig} , J_0 , and J_{45} values among three devices

Devices	Mean difference (D)	95% LoA	<i>p</i> -value*
Pentacam HR-ORBscan II			
K_{astig}	0.01 ± 0.02	-0.037 to 0.049	1.000
J_0	0.01 ± 0.02	-0.018 to 0.043	0.971
J_{45}	0.01 ± 0.02	-0.032 to 0.061	1.000
Pentacam HR-Topolyzer Vario			
K_{astig}	-0.02 ± 0.02	-0.065 to 0.015	0.404
J_0	-0.01 ± 0.01	-0.034 to 0.012	0.698
J_{45}	0.04 ± 0.02	0.004 to 0.073	0.023
ORBscan II-Topolyzer Vario			
K_{astig}	-0.03 ± 0.03	-0.084 to 0.021	0.448
J_0	-0.02 ± 0.02	-0.057 to 0.010	0.264
J_{45}	0.02 ± 0.02	-0.016 to 0.065	0.440

Values are presented as mean \pm standard deviation unless otherwise indicated.

K_{astig} = astigmatism keratometry; J_0 = Cartesian astigmatism; J_{45} = Oblique astigmatism; D = diopters; 95% LoA = 95% limits of agreement.

**p*-value from repeated measures analysis of variance with bonferroni correction is represented.

고 찰

최근 굴절교정수술 시 레이저 기기에 개개인의 각막 지형도 정보가 전송되어 그를 바탕으로 레이저 조사를 할 수 있게 되었다. 이러한 방식의 수술을 각막 지형도 기반 절삭 (Topography-guided Custom Ablation Treatment)이라고 한다. 기존의 Topolyzer는 측정된 각막 지형도 정보가 레이저 기기와 연계될 수 없었으나, Topolyzer Vario는 EX500 (WaveLight) 엑시머 레이저 기기로 검사 결과를 전송할 수 있도록 개발되어, 각막 지형도 기반 절삭이 가능해지도록 하였다. 이렇게 각막 지형도를 이용한 각막굴절교정술을 할 경우 많은 경우에서 더 높은 수술 후 교정시력을 얻을 수 있고,^{12,13} 각막고위수차(higher-order aberrations)를 줄여줄 수 있다는 결과가 보고되었다.¹⁴⁻¹⁶ Topolyzer Vario는 2.6 ms 안에 눈물층을 포함한 각막의 사진과 홍채 및 동공의 사진을 모두 얻는데, 각막 반사(corneal reflex)를 이용하여 각막의 정점(vertex)과 축(axis)을 결정하고, 11개의 무늬가 그려진 플라시도 원반 모양을 통해 22,000개의 계측점을 설정하여 각막굴절력을 측정하며, 이를 바탕으로 각막 지형도를 완성한다. Topolyzer Vario는 기존의 Topolyzer와는 달리 움직이는 눈을 추적하여 검사가 가능하다는 강력한 장점(eye tracking system)을 바탕으로 보다 정확하게 각막의 윤부, 동공 위치와 크기, 안구 회전 정도와 각막 지형도 정보를 출력해낸다. 이 정보는 EX500 엑시머 레이저 기기에 전송되어 보다 최적화된 레이저 조사 계획이 수립된다. 각막 지형도 정보는 각막 지형도 기반 절삭 시 환자의 굴절교정 수술 후 예후를 결정짓는 아주 중요한 요소이기 때문에 이 각막 지형도 정보를 측정하는 기기의 측정값 신뢰도가 높아야 한다.

본 연구는 최근 굴절교정술을 함에 있어 각막 지형도 기반 절삭술이 가지는 장점이 부각되면서 Topolyzer Vario의 임상 활용이 증가하고 있는 가운데, Topolyzer Vario 기기의 각막굴절력 측정값을 기존에 흔히 사용되는 기기와 비교하여 신뢰도를 평가하였다는 데에 의의가 있다. 피어슨 상관관계수 계산을 통해 세 기기들이 측정하는 각막굴절력값은 서로 매우 높은 상관성을 보였고, 검사 기기 간 절대적 오차도 크지 않았다. 단, K_f , K_m , K_s 값은 Pentacam HR보다 ORBscan II와 Topolyzer Vario로 측정하였을 때 더 크게 측정되었으며, ORBscan II와 Topolyzer Vario 간 측정치에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. Pentacam HR과 ORBscan II 간에는 K_f , K_m 에서 유의한 차이가 있었고, Pentacam HR과 Topolyzer Vario 간에는 K_f , K_m , K_s , J_{45} 에서 유의한 차이가 있었다. ORBscan II와 Topolyzer Vario 간에는 모든 경우에서 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

Pentacam HR만이 다른 두 기기들에 비하여 일관되게 낮은 K 값을 보였다. 이는 ORBscan II와 Topolyzer Vario가 플라시도 원반 방식을 이용하여 각막 굴절값을 측정하고 Pentacam HR은 샤임플러그 카메라 방식을 이용하여 측정하는 방식의 차이에서 기인하는 것으로 생각된다.

Pentacam과 ORBscan을 비교한 한 국내 연구에서는 본 연구에서와 마찬가지로 ORBscan에서 측정된 편평 각막 곡률값과 가파른 각막곡률값이 Pentacam보다 크게 측정되었다.¹⁷ 플라시도 원반 방식을 이용하여 각막굴절력을 측정하고 눈물막과 마이봄샘을 분석할 수 있는 기기인 Keratograph 5M에 대해 다른 논문에서도 Pentacam으로 측정된 각막굴절력값보다 ORBscan으로 측정된 각막굴절력값이 더 큰 것으로 보고되었다.¹⁸ 그러나 본 연구와 상반되는 결과들을 얻은 연구들도 있는데, Pentacam과 ORBscan, Galilei 세 가지 기기를 비교한 연구에서 Pentacam과 ORBscan이 편평 각막곡률값과 가파른 각막곡률값상에서 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고,¹⁹ 정상안이 아닌 원추각막안을 대상으로 Pentacam과 ORBscan, Galilei 세 가지 기기를 비교한 연구에서는 Pentacam과 ORBscan 간에 편평 각막곡률값은 차이가 나고 가파른 각막곡률값은 차이가 나지 않는 것으로 관찰되었으며, 그 값 자체도 Pentacam이 더 큰 것으로 보고되었다.²⁰ 원추각막안과 라식 수술 이후의 눈에 대해 플라시도 원반 방식의 검사기기와 샤임플러그 카메라 방식의 검사기기의 각막굴절력 측정값을 비교한 한 논문에서는 원추각막안과 라식수술 이후의 눈 모두에서 두 기기 간 편평, 평균, 가파른 각막곡률 측정값에 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다.⁵

현재까지 Topolyzer Vario를 이용한 연구는 주로 안전성과 유효성에 대한 평가에 주안점을 두고 이루어져, 수술 전후 시력과 굴절 도수의 비교, 다른 기기와의 수술 후 고위수차 비교, 수술 후 합병증 및 부작용 평가 위주로 진행되어왔으며, 본 연구처럼 각막굴절력 측정치에 대해 직접적으로 신뢰도를 평가한 연구는 최근까지 진행된 것이 없었다.^{12-16,21-23} 이전 모델인 Topolyzer의 각막굴절력 측정치에 대해 다른 논문 역시 많지 않으나, 이전에 연구된 결과들은 Topolyzer Vario를 대상으로 수행된 본 연구와는 달리 각막굴절력 측정에 있어서 Topolyzer 기기가 Pentacam과 차이가 없다고 보고한다. 2012년에 8가지 기기를 바탕으로 Topolyzer를 포함하여 각 기기들의 각막굴절력을 비교 분석한 논문에서는 Pentacam과 Topolyzer 간에 차이가 없다고 보고하였고,²⁴ 같은 해에 4가지 기기 간 각막굴절력에 대해 비교한 이전 연구에서도 Pentacam과 Topolyzer 간에는 차이가 없었음을 보였다.²⁵

본 연구에서 Topolyzer Vario의 모든 각막굴절값들은

Pentacam HR, ORBscan II와 강한 양의 상관관계를 가지며, 그 측정값 자체가 ORBscan II와 매우 높은 일치도를 보였다. Topolyzer Vario는 K_f , K_m , K_s , J_{45} 에서 Pentacam HR과 유의한 차이를 나타냈으며, 그 차이는 K_f 에서 0.12 D, K_m 에서 0.13 D, K_s 에서 0.15 D로 관찰된다. 이전 모델인 Topolyzer를 Pentacam과 비교한 연구들은 각막굴절력 측정치에 차이가 없다고 밝혔으나, Topolyzer Vario를 대상으로 수행한 본 연구에서는 위와 같이 Pentacam을 통한 측정값과 차이가 발생하는 것으로 관찰된다. 그러나 이 차이는 일반적인 임상환경에서는 영향을 줄 수 없는 미세한 차이로, 임상적인 의미는 크지 않을 것으로 보인다. 따라서 굴절교정수술 전 각막굴절력 측정에 있어서 Topolyzer Vario는 ORBscan II와 호환이 가능할 것으로 보이며, Pentacam HR은 Topolyzer Vario와 굴절교정수술 전 각막의 이상 형태를 확인하기 위한 수준에서 대체 가능할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점 중 하나는 굴절이상 외 다른 안과적 과거력이 없는 환자들만을 대상으로 하였기 때문에 정상 각막이 아닌 경우들을 포함한 모든 임상 환경에 대입하여 호환 가능성 여부를 판단하기는 어렵다는 것이다. 특히, 본 연구에 포함된 환자들은 대부분 각막굴절교정술을 앞둔, 상대적으로 젊은 연령의 환자들이었기 때문에 대부분 직난시를 가지고 있었다(80명 중 76명이 $60^\circ < \text{steep axis} < 120^\circ$, 57명이 $80^\circ < \text{steep axis} < 100^\circ$). 이를 바탕으로 계산된 J_{45} 값은 그 값의 절대값이 매우 작을 뿐 아니라, 난시의 절대값에 의한 영향보다는 90° 부근의 작은 각도 차이에 의해 주로 값의 크기가 결정될 수 밖에 없다. 따라서 계산된 J_{45} 값이 위와 같이 단순히 비교를 하기에는 적절하지 않았을 수 있다. J_{45} 값은 다른 각막굴절력 계산값들에 비하여 기기 간 상관성이 상대적으로 낮은 이유도 이 때문으로 보인다. 따라서 이전 연구들에서 Pentacam과 Topolyzer에 차이가 없다고 밝힌 것과는 달리 본 연구에서 관찰된 Pentacam HR과 Topolyzer Vario 간의 J_{45} 값의 차이는 실제 이 두 기기가 난시 측정에 있어서 차이가 있는지 보기에 충분하지 않았을 수 있다. 위와 같은 제한점을 극복하기 위해서는 향후 다양한 종류의 난시를 가진 환자나 원추각막이나 굴절교정술 이후의 눈에서 측정된 굴절값에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 결론적으로 본 연구를 통해 굴절교정수술 전 검사법으로서 Topolyzer Vario는 각막굴절력 측정시 ORBscan II와는 차이가 없고, Pentacam HR과는 보정하여 사용이 가능한 높은 신뢰도를 가진 검사임을 확인하였다.

REFERENCES

1) Cairns G, McGhee CN. Orbscan computerized topography: attributes, applications, and limitations. J Cataract Refract Surg 2005;

31:205-20.
 2) Savini G, Barboni P, Carbonelli M, Hoffer KJ. Agreement between pentacam and videokeratography in corneal power assessment. J Refract Surg 2009;25:534-8.
 3) Hidalgo IR, Rozema JJ, Dhubghaill SN, et al. Repeatability and inter-device agreement for three different methods of keratometry: Placido, Scheimpflug, and color LED corneal topography. J Refract Surg 2015;31:176-81.
 4) de Stefano VS, Soares Melo Jr LA, Mallmann F, Schor P. Interchangeability between Placido disc and Scheimpflug system: quantitative and qualitative analysis. Arq Bras Oftalmol 2010;73:363-6.
 5) Penna RR, de Sanctis U, Catalano M, et al. Placido disk-based topography versus high-resolution rotating Scheimpflug camera for corneal power measurements in keratoconic and post-LASIK eyes: reliability and agreement. Int J Ophthalmol 2017;10:453-60.
 6) Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, Pesudovs K. Anterior segment biometry with the Pentacam: comprehensive assessment of repeatability of automated measurements. J Cataract Refract Surg 2008;34:103-13.
 7) Kawamorita T, Nakayama N, Uozato H. Repeatability and reproducibility of corneal curvature measurements using the Pentacam and Keratron topography systems. J Refract Surg 2009;25:539-44.
 8) Ortiz-Toquero S, Rodriguez G, de Juan V, Martin R. Repeatability of wavefront aberration measurements with a placido-based topographer in normal and keratoconic eyes. J Refract Surg 2016;32:338-44.
 9) Menassa N, Kaufmann C, Goggin M, et al. Comparison and reproducibility of corneal thickness and curvature readings obtained by the Galilei and the Orbscan II analysis systems. J Cataract Refract Surg 2008;34:1742-7.
 10) Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. Optom Vis Sci 1997;74:367-75.
 11) Thibos LN, Horner D. Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. J Cataract Refract Surg 2001;27:80-5.
 12) Kanellopoulos AJ. Topography-guided hyperopic and hyperopic astigmatism femtosecond laser-assisted LASIK: long-term experience with the 400 Hz eye-Q excimer platform. Clin Ophthalmol 2012;6:895-901.
 13) Tan J, Simon D, Mrochen M, Por YM. Clinical results of topography-based customized ablations for myopia and myopic astigmatism. J Refract Surg 2012;28(11 Suppl):S829-36.
 14) Kim J, Choi SH, Lim DH, et al. Topography-guided versus wavefront-optimized laser in situ keratomileusis for myopia: surgical outcomes. J Cataract Refract Surg 2019;45:959-65.
 15) Shetty R, Shroff R, Deshpande K, et al. A prospective study to compare visual outcomes between wavefront-optimized and topography-guided ablation profiles in contralateral eyes with myopia. J Refract Surg 2017;33:6-10.
 16) Holland S, Lin DT, Tan JC. Topography-guided laser refractive surgery. Curr Opin Ophthalmol 2013;24:302-9.
 17) Shin YJ, Kim NH, Kim DH. Comparison of pentacam with orbscan. J Korean Ophthalmol Soc 2007;48:637-41.
 18) Kim YH, Li Y, Lee HS, Yoon KC. Measurement of corneal power and astigmatism using placido-based videokeratography and comparison with other keratometers. J Korean Ophthalmol Soc 2016; 57:1874-81.

- 19) Crawford AZ, Patel DV, McGhee CN. Comparison and repeatability of keratometric and corneal power measurements obtained by Orbscan II, Pentacam, and Galilei corneal tomography systems. *Am J Ophthalmol* 2013;156:53-60.
- 20) Meyer JJ, Gokul A, Vellara HR, et al. Repeatability and agreement of Orbscan II, Pentacam HR, and Galilei Tomography Systems in corneas with keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2017;175:122-8.
- 21) Stulting RD, Fant BS, the T-CAT Study Group. Results of topography-guided laser in situ keratomileusis custom ablation treatment with a refractive excimer laser. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:11-8.
- 22) Sun MS, Zhang L, Guo N, et al. Consistent comparison of angle Kappa adjustment between Oculyzer and Topolyzer Vario topography guided LASIK for myopia by EX500 excimer laser. *Int J Ophthalmol* 2018;11:662-7.
- 23) Faria-Correia F, Ribeiro S, Monteiro T, et al. Topography-guided custom photorefractive keratectomy for myopia in primary eyes with the waveLight EX500 platform. *J Refract Surg* 2018;34:541-6.
- 24) Wang Q, Savini G, Hoffer KJ, et al. A comprehensive assessment of the precision and agreement of anterior corneal power measurements obtained using 8 different devices. *PLoS One* 2012;7:e45607.
- 25) Gonen T, Cosar CB, Sener B, Keskinbora KH. Comparison of keratometric data obtained by automated keratometer, Dicon CT 200, Allegro Topolyzer, and Pentacam. *J Refract Surg* 2012;28:557-61.

= 국문초록 =

토포라이저 바리오를 이용한 각막굴절력검사의 신뢰도 연구

목적: Topolyzer Vario (WaveLight, Erlangen, Germany)의 임상적 신뢰도에 대하여 평가하기 위하여 각막지형도를 검사하는 세 기기의 각막굴절력 측정값을 비교하였다.

대상과 방법: 각막굴절교정술을 위해 본원에 내원한 환자들의 의무기록을 후향적으로 분석하여, Pentacam HR (Oculus, Wetzlar, Germany), ORBscan II (Bausch & Lomb, Rochester, New York, USA), Topolyzer Vario를 동일한 날에 시행한 환자들의 각막계측치를 분석하였다. 각 기기로부터 편평각막곡률(K_t), 가파른각막곡률(K_s), 평균각막곡률(K_m)과 난시값(K_{astig}), 카티지언 난시(J_0), 경사난시(J_{45})를 계산하여 비교하였다.

결과: 80안의 각막계측치를 분석하였으며, 세 기기들은 모든 각막굴절력값에서 높은 상관성과 일치도를 보였다. Pentacam HR은 ORBscan II보다 K_t , K_m 을 유의하게 낮게 측정하였고, Topolyzer Vario보다 K_t , K_m , K_s , J_{45} 를 유의하게 낮은 수준으로 측정하였으나, ORBscan II와 Topolyzer Vario 간에는 모든 측정값에서 유의한 차이가 관찰되지 않았다. Topolyzer Vario와 Pentacam HR 간 측정된 각막굴절력값의 차이는 임상적 의미가 크지 않았다.

결론: 굴절이상 외 다른 안과적 과거력이 없는 환자의 각막굴절력 측정시, Topolyzer Vario는 ORBscan II 및 Pentacam HR과 호환이 가능하므로 임상적으로 신뢰할 만한 검사기기이다.

〈대한안과학회지 2020;61(8):882-889〉

설동헌 / Dongheon Surl

연세대학교 의과대학 세브란스병원 안과학교실 시기능개발연구소
The Institute of Vision Research,
Department of Ophthalmology, Severance Hospital,
Yonsei University College of Medicine

