

플라시도원반 방식의 비디오각막경을 이용한 각막곡률 및 난시측정과 기존의 각막곡률계와의 비교

Measurement of Corneal Power and Astigmatism Using Placido-based Videokeratography and Comparison with Other Keratometers

김영휘 · 이 영 · 이호석 · 윤경철

Yung Hui Kim, MD, Ying Li, MD, Hyo Seok Lee, MD, Kyung-Chul Yoon, MD, PhD

전남대학 의과대학 안과학교실

Department of Ophthalmology, Chonnam National University Medical School, Gwangju, Korea

Purpose: In the present study, the repeatability and reproducibility of the corneal power and astigmatism measurements using placido-based video keratography were evaluated and the agreement with other keratometers were compared.

Methods: This prospective study included 45 patients (45 eyes) scheduled to undergo cataract surgery between November 2015 and January 2016. Three sets of corneal power and astigmatism were measured using placido-based video keratometer (Keratograph® 5M), automatic keratometer (KR-8900®), manual keratometer (B&L manual keratometer®), Placido-scanning-slit keratometer (ORBscan II®), Scheimpflug keratometer (Pentacam®), and low coherence interferometry (Lenstar LS900®). Reliability of each device was analyzed using the coefficient of variation, standard deviation and intraclass correlation coefficient. Repeated measures analysis of variance was used to analyze the interdevice comparison of mean absolute difference. The agreement between the devices was evaluated with 95% limits of agreement (LoA) and Bland-Altman plots.

Results: The mean corneal power, astigmatism and power vector analysis (J_0 , J_{45}) were not significantly different among devices ($p > 0.05$). In the Bland-Altman plot analysis, the 95% LoA of corneal power, J_0 , and J_{45} when comparing Keratograph® 5M with others ranged from -0.78 to 0.55 D, from -0.42 to 0.45 D, and from -0.39 to 0.47 D, respectively.

Conclusions: Keratograph® 5M showed good repeatability and reproducibility of corneal power and astigmatism measurements and was interchangeable with other keratometers.

J Korean Ophthalmol Soc 2016;57(12):1874-1881

Keywords: Astigmatism, Corneal power, Keratograph, Keratometer, Placido-based

각막곡률과 난시의 정확한 측정은 백내장 수술에서 사용되는 인공수정체의 도수 계산과 각막굴절수술에 있어 매우 중요한 요소이다. 백내장 수술의 경우, 각막곡률 측정 오차

1디옵터(diopter, D) 차이가 거의 같은 크기의 인공수정체 도수 차이를 유발하며, 따라서 수술 전 정확한 각막곡률의 계산이 필수적이다. 또한 난시교정인공수정체의 개발로 환자 및 술자의 수술결과 및 만족도에 대한 기대가 커짐에 따라 각막곡률과 난시의 측정에 있어 그 정확성이 더욱 중요시되고 있다. 또한 각막굴절수술의 경우 정확한 각막곡률 및 난시의 측정이 술 후 발생하는 진행성 각막변화 및 속발성 난시를 추적관찰하는 데 있어 중요하다.

지금까지 여러 연구에서 수동각막곡률계(B&L manual keratometer®, Bausch & Lomb, Rochester, NY, USA), 자동

■ Received: 2016. 8. 18. ■ Revised: 2016. 9. 20.

■ Accepted: 2016. 11. 22.

■ Address reprint requests to **Kyung-Chul Yoon, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Chonnam National University
Hospital, #42 Jebong-ro, Dong-gu, Gwangju 61469, Korea
Tel: 82-62-220-6753, Fax: 82-62-227-1642
E-mail: kcyoon@jnu.ac.kr

© 2016 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.

각막곡률계(KR-8900[®], Topcon, Tokyo, Japan), 플라스도 원반-세극등주사 각막곡률계(ORBscan II[®], Bausch & Lomb, Rochester, NY, USA), 샤임플러그 각막곡률계(Pentacam[®], Oculus Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany), 그리고 저간섭성 반사계(Lenstar LS900[®], Haag-Streit, Mason, OH, USA)의 각막곡률측정에 있어 높은 정확도와 재현성을 보고하였다.¹⁻⁸

비교적 최근에 개발된 Keratograph[®] 5M (Oculus Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany)은 플라스도 방식의 각막곡률계를 포함하여 적외선 플라스도 원반과 여러 발광 다이오드를 통해 눈물막과 마이봄샘을 분석할 수 있는 장비이다. 기존의 각막곡률계와는 달리 각막곡률과 난시를 측정하는데 있어 아직까지 그 정확도와 반복성에 대해 많은 연구가 이루어지지 않는 반면, 또한 한국인 정상인을 대상으로 Keratograph[®] 5M에 대한 각막곡률 및 난시의 측정값에 대해 시행한 연구는 없었다.

따라서 본 연구는 플라스도 원반 방식의 비디오각막경인 Keratograph[®] 5M을 이용한 각막곡률 및 난시측정의 정확도와 재현성을 평가하고 기존의 여러 각막곡률계와 차이가 있는지 알아보고자 하였다.

대상과 방법

2015년 11월부터 2016년 1월까지 본원에서 일반적인 백내장 수술을 시행 받기로 한 정상인 45명 45안을 대상으로 헬싱키선언(Declaration of Helsinki)을 준수하여 전향적인 연구를 시행하였다. 모든 환자에게 연구의 목적 및 검사방법과 절차 등을 설명하였고, 설명된 동의서(informed consent)를 얻었다. 본 연구는 전남대학교병원의 생명의학연구윤리심의위원회의 승인을 통과하여 진행되었다(승인번호: CNUH-2016-242).

단순 백내장이 있는 눈만이 연구 대상에 포함되었으며, 이전의 안내 또는 각막수술을 받은 기왕력(녹내장 수술, 유리체 망막수술 및 각막이식술), 안외상의 과거력, 콘택트렌즈 사용자, 그리고 각막곡률 측정에 영향을 줄 수 있는 다른 안과적 질환이 있는 경우(각막혼탁, 각막변성, 감염각막염, 안구건조증, 녹내장, 안구 내 염증, 약시, 시신경병증 및 기타 망막질환)는 연구대상에서 제외하였다. 대상자들에게 플라스도 원반 방식의 비디오각막경(Keratograph[®] 5M), 자동각막곡률계(KR-8900[®]), 수동각막곡률계(B&L manual keratometer[®]), 플라스도원반-세극등주사 각막곡률계(ORBscan II[®]), 샤임플러그 각막곡률계(Pentacam[®]), 그리고 저간섭성 반사계(Lenstar LS900[®])의 여섯 가지 기기로 각막곡률 및 난시를 측정하였다. 한 명의 시험자(Kim YH)가 45명의 모

든 대상자를 기기별로 3회씩 측정하였으며, 눈물층의 변화로 인한 측정값 오차를 최대한 줄이기 위해 1회 측정할 때마다 측정 전 충분히 눈을 깜박이도록 교육하였다.

Keratograph[®] 5M는 플라스도 원반 방식의 비디오각막경으로, 각막 중심부로부터 10 mm 이내의 눈물막에 플라스도 원반의 빛을 투영하여 반사된 신호를 종합하여 각막의 simulated keratometry (sim K)를 측정하였다. KR-8900[®]는 자동각막곡률계로 각막 중심부로부터 2.6 mm 이내의 각막곡률을 측정하였다. B&L manual keratometer[®]는 수동각막곡률계로 각막 중심부로부터 3 mm 이내의 각막곡률을 측정하는데 2개씩 수직으로 정렬된 4 군데의 원형의 Scheiner disc를 이용하여 측정하였다. ORBscan II[®]는 세극등주사 방식과 플라스도 원반 방식이 결합된 형태의 각막곡률계로, 여러 반지를 영역에서 각막곡률의 측정이 가능하며 다양한 굴절력지도도를 얻을 수 있다. 전체 각막 표면에서는 9,600개 이상의 지점을 측정할 수 있으며 중심부로부터 3 mm 이내의 지점에서 1,000개 이상의 지점을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 sim K와 3 mm zone K를 사용하였다. Pentacam[®]은 세극등주사 방식과 회전 샤임플러그 카메라를 이용한 각막곡률계로 1회의 스캔당 50개의 영상을 얻으며 각막표면의 138,000개의 지점에서의 각막 전, 후면의 각막곡률을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 각막 중심부로부터 3 mm 이내의 각막 전면의 sim K만을 사용하였다. Lenstar LS900[®]은 저간섭성 반사계로 이중 구역 각막곡률계(dual zone keratometry)가 한 고리당 16개의 지점으로 이루어진 총 32개 지점의 각막면에서 반사되는 각막곡률을 측정하고, 각 고리는 지름이 1.65 mm, 2.3 mm로 이루어져 있다. 본 연구에서는 각막곡률과 난시측정에 있어 1회 측정 시 5번의 반복측정을 통한 평균 값을 내었고, 이를 3회 반복하였다.

난시의 분석은 power vector analysis를 통해 Jackson cross-cylinder (JCC) 값인 J_0 , J_{45} 를 이용하였다.⁹ J_0 는 90°와 180° 난시축을 이용한 값으로, 음성(negative)일 경우 도난시(against-the-rule astigmatism, ATR)를, 양성(positive)일 경우 직난시(with-the-rule astigmatism, WTR)를 의미한다. J_{45} 는 45°와 135° 난시축을 이용한 값으로, 경사난시를 의미한다. Jackson cross-cylinder를 구하는 수식은 다음과 같다.

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

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

(C; negative astigmatism = flat K - steep K; θ = flat meridian)

J_0 , J_{45} 의 기기별 비교에서 B&L manual keratometer[®]는 난시축 측정을 할 수 없어 제외하였다. 통계학적 분석은 SPSS

18.0 for Windows (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였다. 각막곡률 측정은 1회 측정 시마다 flat K와 steep K의 평균값을 이용하였고 각 기기별로 3회씩 측정하여 이 측정값의 평균값으로 기기 간 비교를 시행하였다. Keratograph® 5M과 다른 기기들의 3회 각막곡률 측정의 신뢰성을 알아보기 위해 변동계수(coefficient of variation, CoV), 군내연관계

수(intraclass correlation coefficients, ICCs) 및 표준편차(standard deviation, SD)를 계산하였다. CoV는 3회 측정값들의 평균 표준편차를 평균 각막곡률 및 평균 난시로 나눈 값에 100을 곱하였다. 또한 각 기기별 3회 측정값들의 차이의 평균에 대한 표준편차(within subject standard deviation, S_w)를 이용하여 각막곡률과 난시의 측정에 대한 정확성($1.96S_w$)과 반복성($2.77S_w$)을 계산하였다. 또한 Keratograph® 5M과 다른 각막곡률계 사이의 각막곡률 및 난시(J_0 , J_{45} ; Power vector analysis)의 평균 차이의 다중비교를 위해 측정값 차이의 평균(mean absolute difference, MAD) 및 반복측정 분산분석(Repeated measures analysis of variance, RM-ANOVA)을 이용하였다. Keratograph® 5M과 다른 각막곡률계 사이의 일치도 평가를 위하여 95% 신뢰구간(± 1.96 SD)의 Bland-Altman plot을 이용하였다. p 값이 0.05 미만일 경우를 통계적으로 유의한 것으로 정의하였다.

결 과

45명 대상자의 평균 나이는 66.6 ± 12.6 세였으며 남자가 22명(48.9%), 여자가 23명(51.1%)이었다. 우안 22안(48.9%), 좌안 23안(51.1%)이 포함되었다. 평균각막곡률과 평균난시 측정값에서 Keratograph® 5M과 각각 KR-8900®, B&L manual keratometer®, ORBscan II®, Pentacam®, Lenstar LS900® 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$) (Fig. 1).

각막곡률 측정값에 대하여 6개의 다른 각막곡률계의 CoV는 0.22% (Keratograph® 5M)에서 0.42% (Lenstar LS900®) 사이에 있었으며 ICCs는 모두 0.953 (ORB scan II® 3 mm zone K) 이상이었고 Keratograph® 5M이 0.992로 가장 높았다. 난시 측정값에 대하여 CoV는 10.5% (Lenstar LS900®)에서 14.7% (Pentacam®) 사이에 있었으며 ICCs는 0.883 (ORBscan II® 3 mm zone K) 이상이었고 Keratograph® 5M이 0.981로 가장 높았다(Table 1).

각 기기별 3회 측정 시 각막곡률의 정확성은 0.363D 이

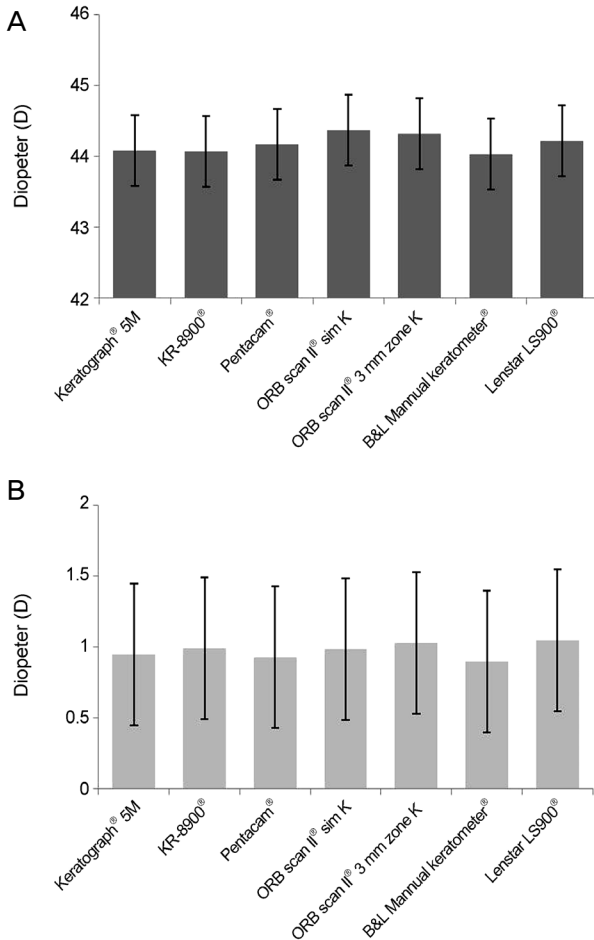


Figure 1. Keratometric measurements by several keratometers. Mean corneal power (A) and astigmatism (B) measured by Keratograph® 5M and other keratometers. No statistically significant differences ($p > 0.05$).

Table 1. Reliability of corneal power and astigmatism measurements

	Mean K (D)	CoV (%)	ICCs	Astigmatism (D)	CoV (%)	ICCs
Keratograph® 5M	44.09 ± 1.54	0.22	0.992	0.95 ± 0.15	12.0	0.981
KR-8900®	44.08 ± 1.60	0.25	0.989	0.99 ± 0.21	12.5	0.912
Pentacam®	44.17 ± 1.69	0.27	0.976	0.93 ± 0.17	14.7	0.976
ORB scan II® Sim K	44.38 ± 1.41	0.31	0.991	0.99 ± 0.23	12.3	0.948
ORB scan II® 3 mm zone K	44.32 ± 1.48	0.27	0.953	1.03 ± 0.16	14.2	0.883
B&L Manual keratometer®	44.04 ± 1.55	0.30	0.990	0.90 ± 0.11	11.3	0.937
Lenstar LS900®	44.22 ± 1.61	0.42	0.964	1.05 ± 0.26	10.5	0.899

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

K = corneal power; CoV = coefficient of variation; ICCs = intraclass correlation coefficients.

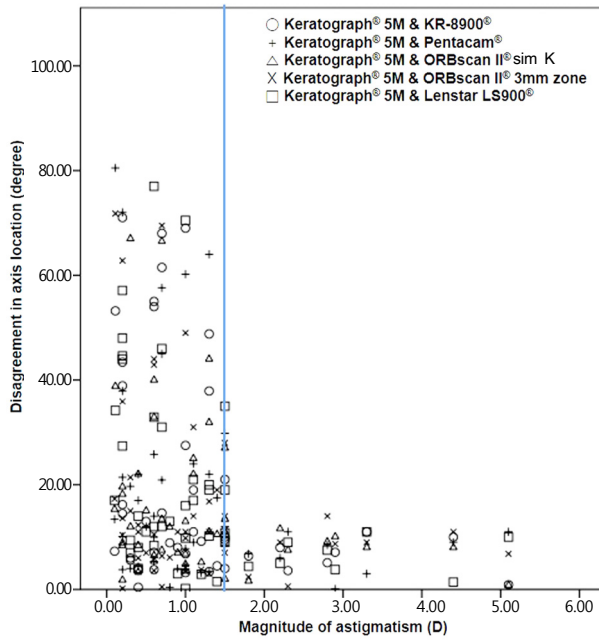


Figure 2. Disagreement in flat axis location are scattered according to magnitude of corneal astigmatism between Keratograph[®] 5M and other keratometers. Note that when the astigmatism is more than 1.5 diopters (vertical line), the difference is comparable.

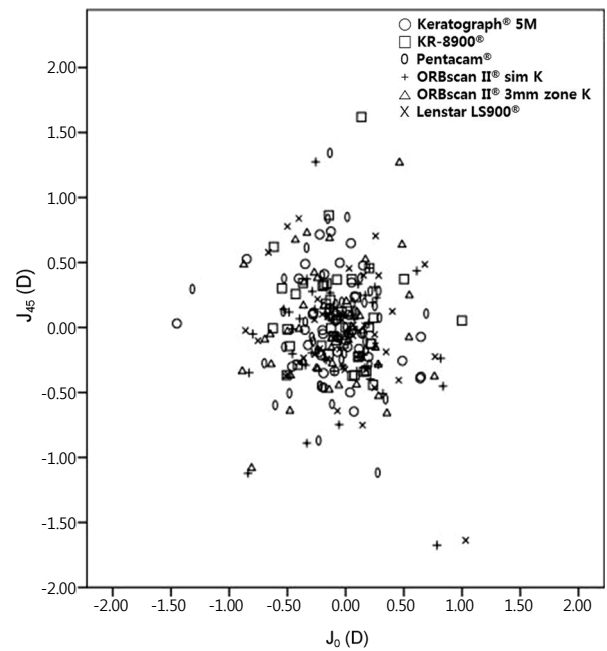


Figure 3. Scatter plot of power vector analysis (J_0 , J_{45}) of astigmatic magnitude measured by Keratograph[®] 5M and other keratometers. There was no significant differences in the astigmatic components ($p > 0.05$). J_0 = Jackson cross-cylinder, axes at 90 and 180 degrees; J_{45} = Jackson cross-cylinder, axes at 45 degrees and 135 degrees; D = diopter; sim K = simulated keratometry.

Table 2. Precision and repeatability of corneal power and astigmatism measurements by several keratometers

	Corneal power				Astigmatism			
	MAD (D)	S_w (D)	Precision	Repeatability	MAD (D)	S_w (D)	Precision	Repeatability
Keratograph [®] 5M	0.115	0.097	0.190	0.269	0.098	0.114	0.223	0.316
KR-8900 [®]	0.101	0.112	0.220	0.310	0.104	0.124	0.243	0.343
Pentacam [®]	0.127	0.120	0.235	0.332	0.086	0.137	0.269	0.379
ORB scan II [®] sim K	0.119	0.137	0.269	0.379	0.094	0.122	0.239	0.338
ORB scan II [®] 3 mm zone K	0.135	0.121	0.237	0.335	0.124	0.146	0.286	0.404
B&L manual keratometer [®]	0.181	0.131	0.257	0.363	0.089	0.102	0.200	0.283
Lenstar LS900 [®]	0.136	0.185	0.363	0.512	0.101	0.110	0.216	0.305

Repeated measures analysis of variance (RM-ANOVA): No statistically significant values ($p > 0.05$).

MAD = mean absolute difference; S_w = within subject standard deviation; Precision = $1.96S_w$; Repeatability = $2.77S_w$.

하, 반복성은 0.512D 이하의 값을 보였으며 난시의 정확성은 0.286D 이하, 반복성은 0.404D 이하의 값을 보여 각막곡률과 난시의 측정에 있어 좋은 정확성과 반복성을 보여주었다(Table 2). 각 기기 간 평균 난시축의 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$). 난시축의 분석에서는 각막난시가 1.5D 이상일 때 Keratograph[®] 5M과 다른 기기의 난시축 차이가 크게 줄어들을 알 수 있었다(Fig. 2). 각막난시의 vector analysis에서 각 기기별로 측정된 J_0 및 J_{45} 는 기기 간의 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 3).

Keratograph[®] 5M과 기존의 다른 각막곡률계와의 비교에서 평균각막곡률은 KR-8900[®]과의 차이가 가장 작았으며 (0.01D), ORB scan II[®] sim K와의 차이가 가장 컸다(0.29D). Bland-Altman plot으로 나타난 Keratograph[®] 5M과 다른 각막곡률계와의 일치도에서 95% LoA 값은 각막곡률측정에서 -0.78에서 0.55D로, J_0 에서 -0.42에서 0.45D로, J_{45} 에서 -0.39에서 0.47D로 나타났으며 Keratograph[®] 5M과 다른 각막곡률계 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 3, Fig. 4).

Table 3. Comparison of corneal power and power vector analysis (J_0 , J_{45}) measurements among 7 keratometric devices

	Corneal power (D)			J_0 (D)			J_{45} (D)		
	Difference	95% LoA	<i>p</i> -value*	Difference	95% LoA	<i>p</i> -value*	Difference	95% LoA	<i>p</i> -value*
Keratograph® 5M vs. KR-8900®	0.01 ± 0.21	-0.40~0.42	0.822	0.08 ± 0.19	-0.29~0.45	0.535	0.04 ± 0.22	-0.39~0.47	0.616
Keratograph® 5M vs. Pentacam®	-0.08 ± 0.32	-0.71~0.55	0.453	0.06 ± 0.14	-0.21~0.33	0.486	0.03 ± 0.15	-0.26~0.32	0.511
Keratograph® 5M vs. ORBscan II® sim K	-0.29 ± 0.25	-0.78~0.20	0.057	0.01 ± 0.22	-0.42~0.44	0.932	-0.04 ± 0.17	-0.37~0.29	0.348
Keratograph® 5M vs. ORBscan II® 3 mm zone K	-0.23 ± 0.22	-0.66~0.20	0.112	0.08 ± 0.16	-0.23~0.39	0.399	0.07 ± 0.15	-0.22~0.36	0.294
Keratograph® 5M vs. B&L manual keratometer®	0.05 ± 0.19	-0.32~0.42	0.373	-	-	-	-	-	-
Keratograph® 5M vs. Lenstar LS900®	-0.13 ± 0.22	-0.56~0.30	0.059	0.05 ± 0.20	-0.34~0.44	0.732	-0.06 ± 0.14	-0.33~0.21	0.317

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated. Limits of agreement (LoA): $p < 0.05$, considered statistically significant.

*Repeated measures analysis of variance on ranks; 6 comparisons (RM-ANOVA): $p < 0.05$ is considered statistically significant.

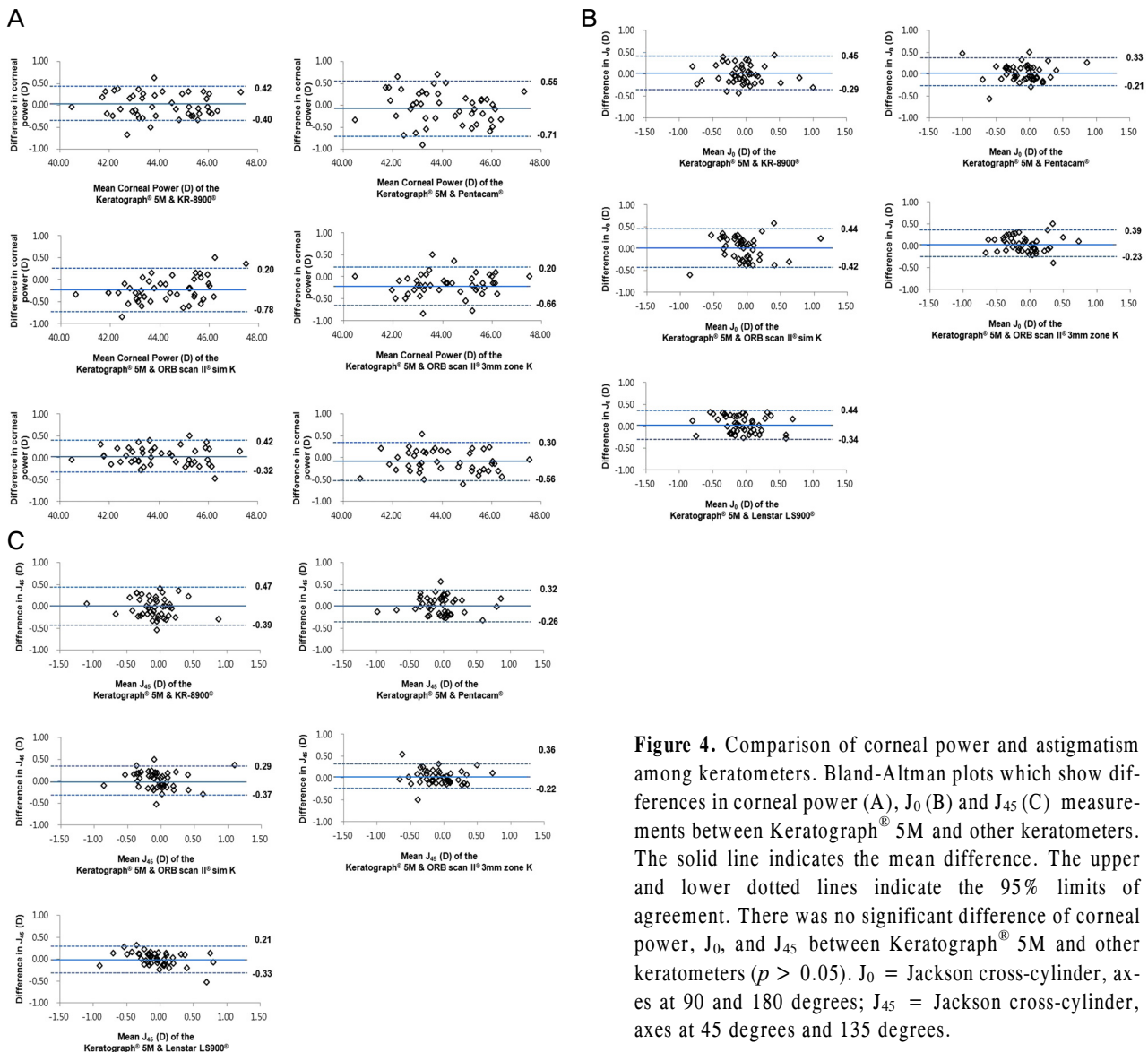


Figure 4. Comparison of corneal power and astigmatism among keratometers. Bland-Altman plots which show differences in corneal power (A), J_0 (B) and J_{45} (C) measurements between Keratograph® 5M and other keratometers. The solid line indicates the mean difference. The upper and lower dotted lines indicate the 95% limits of agreement. There was no significant difference of corneal power, J_0 , and J_{45} between Keratograph® 5M and other keratometers ($p > 0.05$). J_0 = Jackson cross-cylinder, axes at 90 and 180 degrees; J_{45} = Jackson cross-cylinder, axes at 45 degrees and 135 degrees.

고 찰

다른 여러 기기들의 측정치에 대한 반복성과 재현성을 비교하여 일치도를 평가하는 것은 그 기기가 목표로 하는 변수를 얼마나 정확하게 측정할 수 있는지를 제시해주기 때문에 중요하다. 플라시도 원반 방식의 비디오각막경인 Keratograph® 5M은 각막곡률 측정과 함께 눈물막과 마이봄샘을 분석할 수 있는 장치로 기존의 연구들은 마이봄샘 기능장애나 안구건조증 환자 및 안구표면질환(ocular surface disease)을 대상으로 한 것이 대부분이었다.¹⁰⁻¹⁷

본 연구는 플라시도 원반 방식의 비디오각막경인 Keratograph® 5M이 각막곡률과 난시의 측정에 있어 기존의 다른 여러 각막곡률계와 어떠한 차이가 있는지 알아보고 백내장 수술 환자의 술 전 검사 시 인공수정체의 도수를 결정하는데 있어 Keratograph® 5M이 다른 기기들과 서로 상호보완적으로 이용될 수 있는지 알아보고자 하였다. Keratograph® 5M은 각막곡률 측정에서 ICC는 0.992, CoV는 0.22%로, 난시측정에서 ICC는 0.981, CoV는 12.0%로 높은 반복성 및 신뢰성을 보여주었다. Mao et al¹⁸은 Keratograph® 4M과 Pentacam®, IOL master®를 비교한 연구에서 Keratograph® 4M의 각막곡률 측정의 ICC는 0.993, CoV는 0.25%라고 보고하였으며, Ventura et al¹⁹은 다른 플라시도 원반 방식의 각막지형도인 Humphrey Atlas 9000® (version 3.0.0.39, Carl Zeiss Meditec AG, Philadelphia, PA, USA)의 각막곡률 측정에서 ICC는 0.962, CoV는 0.41%로, 난시측정에서 ICC는 0.990, CoV는 18.0%로 높은 반복성을 보인다고 하였다. 다른 기기들의 ICC는 각막곡률측정에서 0.964 (Lenstar LS900®) 이상, 난시측정에서 0.883 (ORBscan II® 3 mm zone K) 이상으로, CoV는 각막곡률 측정에서 3.83% (Pentacam®) 이하, 난시측정에서 24.8% 이하로 비교적 높은 신뢰성을 보여주었으며, 이는 기존 연구들과 어느 정도 일치하는 결과를 보여준다.^{8,18-22}

Laursen et al²³은 Keratograph® 4M과 Nidek ARK®, Pentacam®, Lenstar LS900®, IOL master®의 각막곡률 측정의 정확도를 비교하였는데 Keratograph® 4M의 정확도가 다른 기기에 비해 0.215D로 가장 떨어진다고 하였다. 본 연구에서는 Keratograph® 5M이 0.190D로 다른 기기에 비해 가장 높게 나타났다. Laursen et al²³과 본 연구 결과에 차이는 있으나 두 연구 모두 통계적으로 유의하지 않았기 때문에 Keratograph® 5M의 각막곡률 측정의 정확도는 다른 기기와 비교하여 떨어지지 않을 것으로 생각된다.

Keratograph® 5M과 다른 기기 간 난시축의 비교에서, 각막 난시가 1.5D 이상일 때 그 차이가 줄어들었는데 Han et al²⁴은 자동각막굴절계, IOL master 및 ORBscan II를 비교한

논문에서 각막 난시가 1.5D 이상일 때 난시축의 차이가 현저히 줄며, Srivannaboon et al²⁵은 자동각막굴절계와 이중샤임플러그-플라시도 각막형태분석기인 Galilei analyzer®의 비교에서 각막 난시가 1.0D 이상일 때 난시축의 차이가 현저히 줄어든다고 하였다. 따라서 백내장 수술이 예정된 1.5D 이상의 각막난시를 갖는 환자의 경우 난시축의 각 기기 간 차이가 적기 때문에 난시교정용인공수정체 등을 고려할 때 재현성이 높은 검사로써 이용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 Keratograph® 5M과 다른 기기 간 각막곡률의 일치도 범위는 0.74D (Keratograph® 5M vs. B&L manual keratometer®)에서 1.26D (Keratograph® 5M vs. Pentacam®)까지 다양하였다. 또한 J₀의 일치도 범위는 0.54D (Keratograph® 5M vs. Pentacam®)에서 0.86D (Keratograph® 5M vs. ORBscan II® sim K)까지, J₄₅의 일치도 범위는 0.54D (Keratograph® 5M vs. Lenstar LS900®)에서 0.86D (Keratograph® 5M vs. KR-8900®)까지 나타났다. Mao et al¹⁸은 Keratograph® 4M과 Pentacam®의 각막곡률 일치도 범위는 0.56D, J₀의 일치도 범위는 0.43D, J₄₅의 일치도 범위는 0.39D라고 하였고, 본 연구의 결과는 이보다 더 큰 범위를 보였으나 통계적으로 유의한 차이가 없어, Keratograph® 5M과 Pentacam® 두 기기 간에 각막곡률 및 난시의 측정에 있어 차이가 없음을 보여주었다. Keratograph와 Lenstar LS900®을 비교한 연구는 없었으나 Mao et al¹⁸의 연구에서 Lenstar LS900®과 동일한 방식으로 측정되는 저간섭성 반사계인 IOL master®와 Keratograph® 5M을 비교하였고 두 기기 간 95% 일치도 범위는 각막곡률이 0.90D, J₀는 0.48D, J₄₅는 0.31D라고 하였다. 본 연구에서는 Keratograph® 5M과 Lenstar LS900® 사이의 95% 일치도 범위는 각막곡률이 0.74D, J₀는 0.78D, J₄₅는 0.94D였고 통계적으로 유의한 차이는 없어 두 기기 간에 각막곡률과 난시 측정에 있어 차이가 없음을 보여주었다.

Tajbakhsh et al²⁶은 플라시도 원반 방식의 각막곡률계인 TMS-4®와 Pentacam®, ORBscan II®의 각막곡률 및 난시 측정에 대해 비교하였고 각막곡률 측정에 있어 세 기기 간의 차이는 없었으며 각막난시 측정에 있어서는 TMS-4®와 ORBscan II®이 서로 측정값에 차이가 없음을 보고하였다. 본 연구에서도 Keratograph® 5M과 ORBscan II® sim K 및 3 mm zone K 사이의 95% 일치도 범위는 각막곡률에서 각각 0.98D, 0.86D였고, J₀는 각각 0.86D, 0.62D였으며, J₄₅는 각각 0.66D, 0.58D로 통계적으로 유의한 차이가 없어 각막곡률 및 난시 측정값에 대해 비슷한 결과를 보였다.

아직까지 Keratograph와 manual keratometer를 비교한 논문은 없었으나 Shirayama et al²⁷의 연구에서 플라시도 원반 방식의 각막곡률계인 Humphrey Atlas 9000®과 B&L manual keratometer®를 비교하였으며 각막곡률 측정에 있어 95% 일

치도 범위는 0.53D라고 보고하였다. 또한 Dehnavi et al²⁸ 역시 TMS-4[®]와 manual keratometer인 Javal keratometer[®]의 비교에서 95% 일치도 범위가 0.85D로 각막곡률 측정에 차이는 없다고 하였다. 본 연구에서도 Keratograph[®] 5M과 B&L manual keratometer[®] 사이의 일치도 범위는 0.74D였으며 통계적으로 유의한 차이 없이 두 기기 간에 각막곡률 측정에 있어 차이가 없음을 보여주었다.

또한 Gonen et al²⁹은 자동각막곡률계와 2개의 플라시도 원반 방식의 각막곡률계인 Dicon CT 200[®], Allegro Topolyzer[®]로 vector analysis에 의한 난시측정의 비교는 하지 않았으나 sim K를 비교하였으며 각막곡률 측정에 있어 기기 간 차이가 없음을 보고하였다. 마찬가지로 본 연구에서도 Keratograph[®] 5M과 KR-8900[®]의 각막곡률 및 난시 측정에 있어 차이가 없는 결과를 보였다.

본 연구에서 각 기기별 평균 각막곡률과 평균 난시 크기는 통계적으로 유의하지는 않았지만 각각 최대 0.29D, 0.15D 이내의 근소한 차이를 보였는데 이는 기기마다 각막곡률을 측정하는 방식이 다르고, 측정의 정확성, 기기별 계기검정(calibration) 상태 등이 영향을 주기 때문이며, 특히 기기마다 측정하는 각막의 반경이 서로 다른 것이 주 원인이라고 생각된다. Keratograph[®] 5M, B&L manual keratometer[®], Pentacam[®], ORBscan II[®]는 각막 중심부로부터 3 mm 이내를 측정하는 데 반해 Lenstar LS900[®]은 2.3 mm 이내에서 측정하고, KR-8900[®]은 2.6 mm 이내를 측정하는데, 각막은 완전한 구형이 아니라 각막 중심부에서 멀어질수록 편평해지는 장형으로 이루어져 있기 때문에 각막중심부에서 측정할수록 각막곡률은 더 가파르게 측정된다고 보고된 바 있다.^{2,27} 하지만 본 연구에서는 같은 3 mm 내의 지점을 측정하는 Keratograph[®] 5M에 비해 Pentacam[®]과 ORBscan II[®]에서 평균 각막곡률이 높게 측정되었는데 Mejia-Barbosa and Malacara-Hernandez³⁰는 Pentacam[®]과 ORBscan II[®]가 각막곡률 측정 시 여러 지점으로부터 영상을 찍어내는데 플라시도 원반 방식의 각막곡률계에 비해 시간이 더 걸리기 때문에 환자의 안구 고정 상태, 안구의 보상성 비약 운동(compensatory saccadic movements), 측정시간 동안 눈을 계속해서 뜨고 있는지 등의 환자 협조도가 검사 결과에 훨씬 많은 영향을 줄 것이라고 하였다. 본 연구의 결과 역시 같은 이유 때문일 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 한 검사자만이 측정을 하였기 때문에 여러 검사자들이 측정한 값 사이의 비교를 할 수 없었고, 정상 각막만을 대상으로 하였으며, 백내장 수술이 예정된 노인 연령층에서 시행되었고, 대상자 집단의 수가 45명(45안)으로 비교적 적어 이를 고려하여 통계적 유의성을 판단해야 할 것으로 생각된다. 또한 Pentacam[®]과 ORBscan II[®]에

서는 sim K 값만을 사용하였기 때문에 후면각막에 대한 정보를 포함시키지 않았다는 점도 제한점이라고 생각한다. 그러나 Keratograph[®] 5M을 이미 앞선 연구에서 각막곡률 및 난시 측정에 있어 반복성과 신뢰성이 입증된 다른 5가지 각막곡률계와 비교하여 측정의 반복성 및 재현성에 있어 비슷한 수준의 결과를 보였다는 점에서 의의가 있다고 볼 수 있을 것이다.

결론적으로, Keratograph[®] 5M은 기존의 여러 각막곡률계와 비교하여 각막곡률 및 난시 측정에 있어 뒤지지 않는 반복성과 재현성을 보여주어 서로 상호보완적으로 이용될 수 있을 것으로 보이며, 백내장 수술 시 다른 각막곡률계의 측정값과 서로 참고하여 인공수정체의 도수를 결정하는 데 있어 유용할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Qazi MA, Cua IY, Roberts CJ, Pepose JS. Determining corneal power using Orbscan II videokeratography for intraocular lens calculation after excimer laser surgery for myopia. J Cataract Refract Surg 2007;33:21-30.
- 2) Elbaz U, Barkana Y, Gerber Y, et al. Comparison of different techniques of anterior chamber depth and keratometric measurements. Am J Ophthalmol 2007;143:48-53.
- 3) Elliott M, Simpson T, Richter D, Fonn D. Repeatability and accuracy of automated refraction: a comparison of the Nikon NRK-8000, the Nidek AR-1000, and subjective refraction. Optom Vis Sci 1997;74:434-8.
- 4) Holzer MP, Mamusa M, Auffarth GU. Accuracy of a new partial coherence interferometry analyser for biometric measurements. Br J Ophthalmol 2009;93:807-10.
- 5) Choi JH, Roh GH. The reproducibility and accuracy of biometry parameter measurement from IOL Master(R). J Korean Ophthalmol Soc 2004;45:1665-73.
- 6) Findl O, Drexler W, Menapace R, et al. Improved prediction of intraocular lens power using partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg 2001;27:861-7.
- 7) Findl O, Drexler W, Menapace R, et al. High precision biometry of pseudophakic eyes using partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg 1998;24:1087-93.
- 8) Kim S, Chung SK. Comparison of corneal curvatures obtained with different devices. J Korean Ophthalmol Soc 2012;53:618-25.
- 9) 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.
- 10) Jiang Y, Ye H, Xu J, Lu Y. Noninvasive Keratograph assessment of tear film break-up time and location in patients with age-related cataracts and dry eye syndrome. J Int Med Res 2014;42:494-502.
- 11) Best N, Drury L, Wolffsohn JS. Clinical evaluation of the Oculus Keratograph. Cont Lens Anterior Eye 2012;35:171-4.
- 12) Srinivasan S, Menzies K, Sorbara L, Jones L. Infrared imaging of meibomian gland structure using a novel keratograph. Optom Vis Sci 2012;89:788-94.
- 13) Wu S, Hong J, Tian L, et al. Assessment of bulbar redness with a

- newly developed keratograph. *Optom Vis Sci* 2015;92:892-9.
- 14) Wang X, Lu X, Yang J, et al. Evaluation of dry eye and meibomian gland dysfunction in teenagers with myopia through noninvasive keratograph. *J Ophthalmol* 2016;2016:6761206.
 - 15) Tian L, Qu JH, Zhang XY, Sun XG. Repeatability and reproducibility of noninvasive keratograph 5M measurements in patients with dry eye disease. *J Ophthalmol* 2016;2016:8013621.
 - 16) Abdelfattah NS, Dastiridou A, Sadda SR, Lee OL. Noninvasive imaging of tear film dynamics in eyes with ocular surface disease. *Cornea* 2015;34 Suppl 10:S48-52.
 - 17) Ngo W, Srinivasan S, Schulze M, Jones L. Repeatability of grading meibomian gland dropout using two infrared systems. *Optom Vis Sci* 2014;91:658-67.
 - 18) Mao X, Savini G, Zhuo Z, et al. Repeatability, reproducibility, and agreement of corneal power measurements obtained with a new corneal topographer. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1561-9.
 - 19) Ventura BV, Al-Mohtaseb Z, Wang L, et al. Repeatability and comparability of corneal power and corneal astigmatism obtained from a point-source color light-emitting diode topographer, a Placido-based corneal topographer, and a low-coherence reflectometer. *J Cataract Refract Surg* 2015;41:2242-50.
 - 20) Kawamorita T, Uozato H, Kamiya K, et al. Repeatability, reproducibility, and agreement characteristics of rotating Scheimpflug photography and scanning-slit corneal topography for corneal power measurement. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:127-33.
 - 21) Shin YJ, Kim NH, Kim DH. Comparison of Pentacam with Orbscan. *J Korean Ophthalmol Soc* 2007;48:637-41.
 - 22) 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.
 - 23) Laursen JV, Jeppesen P, Olsen T. Precision of 5 different keratometry devices. *Int Ophthalmol* 2016;36:17-20.
 - 24) Han JM, Choi HJ, Kim MK, et al. Comparative analysis of corneal refraction and astigmatism measured with autokeratometer, IOL master, and topography. *J Korean Ophthalmol Soc* 2011;52:1427-33.
 - 25) Srivannaboon S, Soehamila, Chirapapaian C, Chonpimai P. Comparison of corneal astigmatism and axis location in cataract patients measured by total corneal power, automated keratometry, and simulated keratometry. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:2088-93.
 - 26) Tajbakhsh Z, Salouti R, Nowroozzadeh MH, et al. Comparison of keratometry measurements using the Pentacam HR, the Orbscan IIz, and the TMS-4 topographer. *Ophthalmic Physiol Opt* 2012;32:539-46.
 - 27) Shirayama M, Wang L, Weikert MP, Koch DD. Comparison of corneal powers obtained from 4 different devices. *Am J Ophthalmol* 2009;148:528-35.e1.
 - 28) Dehnavi Z, Khabazkhoob M, Mirzajani A, et al. Comparison of the corneal power measurements with the TMS4-topographer, Pentacam HR, IOL master, and Javal keratometer. *Middel East Afr J Ophthalmol* 2015;22:233-7.
 - 29) 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.
 - 30) Mejia-Barbosa Y, Malacara-Hernandez D. A review of methods for measuring corneal topography. *Optom Vis Sci* 2001;78:240-53.

= 국문초록 =

플라시도원반 방식의 비디오각막경을 이용한 각막곡률 및 난시측정과 기존의 각막곡률계와의 비교

목적: 플라시도 원반 방식의 비디오각막경을 이용한 각막곡률 및 난시측정의 임상적 유용성을 평가하고 기존의 각막곡률계를 측정할 수 있는 기기들과의 차이가 있는지 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 2015년 11월부터 2016년 1월까지 백내장 수술이 예정된 45명 45안을 전향적으로 조사하였다. 플라시도 원반 방식의 비디오각막경(Keratograph® 5M), 자동각막곡률계(KR-8900®), 수동각막곡률계(B&L Manual Ophthalmic Keratometer®), 플라시도 원반-세극등주사 각막곡률계(ORBscan II®), 샤임플러그 각막곡률계(Pentacam®) 및 저간섭성 반사계(Lenstar®)를 이용하여 각막곡률 및 난시를 기기당 1안에 3회씩 반복 측정하였다. 기기별 반복성 및 신뢰성 비교는 변동계수, 표준편차 및 군내연관계수를 통해 분석하였고 기기 간 측정치 평균 차이 비교는 반복측정 분산분석을 통해, 일치도 평가는 Bland-Altman plot으로 분석하였다.

결과: 평균각막곡률 및 각막난시의 측정에 있어 Keratograph® 5M과 다른 기기 간의 차이는 없었으며, J₀, J₄₅에서도 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p>0.05$). Bland-Altman plot으로 분석한 Keratograph® 5M과 다른 기기 간 일치도에서 95% limits of agreement (LoA) 값이 각막곡률은 -0.78~0.55D로, J₀은 -0.72~0.88D로, J₄₅는 -0.39~0.47D로 나타났다.

결론: 각막곡률 및 난시의 측정에 있어 Keratograph® 5M은 기존의 각막곡률계와 비교하여 서로 비슷한 재현성을 나타냈으며 다른 기기들과 상호보완적으로 이용될 수 있다.

〈대한안과학회지 2016;57(12):1874-1881〉