

여러 가지 기기에서의 각막곡률 비교

김소윤 · 정성근

가톨릭대학교 의과대학 안과 및 시과학교실

목적: 여러 가지 기기를 이용하여 각막곡률을 측정하고, 유용성을 평가하고자 하였다.

대상과 방법: 전향적 방법으로 35명(70안)을 대상으로 하였다. 자동각막곡률계(RK-F1[®]), 수동각막곡률계(OM-2[®]), 부분결합간섭계(IOL master[®]), 파면분석기(KR-1W[®]), 비디오각막경(Orbscan II[®])을 이용하여 기기당 1안에 3회씩 각막곡률을 측정하였다. 반복성을 변동계수, 표준편차와 그룹 내 연관계수 등을 통해 비교하였다. 기기들 간의 비교는 RM-ANOVA on Ranks를 통해 비교하였다. 기기들 사이의 일치도를 측정하기 위해서 Bland-Altman plot을 이용하였다.

결과: 각막곡률측정에 대한 기기별 변동계수는 2.92% (IOL master[®])에서 3.06% (Orbscan II[®])이었고, 그룹 내 상관계수는 0.965 (KR-1W[®])에서 0.997 (IOL master[®])이었다. 수동각막곡률계와 비교하였을 때, KR-1W[®]의 각막곡률은 최대 1.23D까지 차이가 났지만, 다른 기기들은 0.82D 이내 차이를 보였다.

결론: 각막곡률 측정 시 다섯 가지 기기들 간에 재현성은 서로 비슷했으며 KR-1W[®]를 이용할 때에는 수동각막곡률계와 1D 이상 차이가 날 수가 있어 주의해야 한다.

〈대한안과학회지 2012;53(5):618-625〉

각막곡률은 각막두께, 안축장, 전방깊이 등의 다른 생체계측과 함께 각막굴절수술 및 백내장수술에 중요시되는 요소 중 하나이다. 각막굴절수술 시에는 각막곡률의 정확한 측정이 시력 결과를 좌우하며, 수술 후의 경과관찰 시에도 진행성 근시, 난시나 합병증의 발생 등의 진행을 관찰할 때 중요한 지표가 된다.

백내장수술 시에는 안축장, 전방깊이, 각막곡률 등이 인공수정체 계산에 중요한 요소가 되는데, 다초점 인공수정체 및 난시교정 인공수정체의 개발과 더불어 수술자와 환자들의 결과에 대한 기대가 커지는 상황에서 정확한 술 후 굴절력 예측의 중요성이 더욱 부각되고 있다. Olsen¹은 백내장수술 후 요구되는 굴절력에 이르지 못하는 이유로 안축장(54%), 각막곡률(8%), 전방깊이(38%)의 부정확한 측정을 들었다. 이후 많은 논문들이 안축장 및 전방깊이에 관해서는 측정기기별로 정확성 등을 비교하였는데,²⁻⁶ 상대적으로 각막곡률의 영향에 대한 기기별 측정값에 대해서는 연구가 적은 편이었다.

전통적인 인공수정체 도수 계산에서 각막곡률은 표준 각

막곡률측정계나 컴퓨터비디오 각막경 등을 이용하여 측정하였다. 많은 논문들이 수동각막곡률계, 자동각막곡률계 그리고 컴퓨터비디오 각막경 등 서로 다른 원리로 측정하는 각막곡률 측정의 반복성과 정확성에 대하여 보고해 왔다.⁷⁻¹³ 하지만, 현재까지 각 기기별로 어떠한 기기들이 더 정확성 및 재현성이 우수한지에 대해서는 이견이 있었고, 특히 한국인 정상인을 대상으로 한 측정값을 비교한 연구는 드물었다. 또한 기기들의 이러한 정보를 자체로도 매우 중요하지만, 이러한 기기들이 각각 각막곡률을 측정함에 있어 기기별로 얼마나 다른지를 이해하는 것도 매우 중요한 것이다.

이에 저자들은 측정된 각막곡률의 반복성 및 비교성을 측정하여 각각의 기기들이 재현성이 있는지를 알아보고, 원리를 달리하는 기기별 측정값의 차이가 있는지 알아보고자 하였다.

대상과 방법

2011년 7월 1일부터 2011년 7월 31일까지 여의도성모병원에서 자원한 35명의 정상인(70안)을 대상으로 전향적으로 조사하였다. 대상자의 평균 나이는 33.69 ± 6.05 세(25-47세)이었고, 남자는 13명, 여자는 22명이었다. 이전의 안내수술이나 각막수술, 외상의 병력, 결과에 영향을 미칠 수 있는 각막질환 등의 다른 안과질환이 있거나 콘택트렌즈를 사용하는 경우는 제외하였다. 각 자원자에게 본

■ 접수 일: 2011년 8월 12일 ■ 심사통과일: 2011년 9월 6일
■ 게재허가일: 2012년 3월 24일

■ 책임저자: 정 성 근
서울특별시 영등포구 63로 10
가톨릭대학교 여의도성모병원 안과
Tel: 02-3779-1150, Fax: 02-761-6869
E-mail: eyedoc@catholic.ac.kr

연구의 목적 및 검사 시의 불편감 등에 대하여 설명하였으며, 설명된 동의서를 모두 얻었다. 대상자를 상대로 자동각막곡률계, 수동각막곡률계, 부분결합간섭계, 파면분석기, 비디오각막경의 서로 다른 측정원리의 다섯 가지 기기가 사용되었다.

자동각막곡률계 중의 하나인 RK-F1[®] (Canon Inc., Tokyo, Japan)는 각막이 구형이라는 가정하에 3.24 mm의 직경 안에서 카메라에 의해 받아지는 반사상으로 각막곡률을 측정하게 된다. 각막에 대한 대강의 정보는 얻을 수 있으나 많은 정보를 얻기는 힘들다는 단점이 있다.¹⁴

수동각막곡률계 중의 하나인 OM-2[®] (Topcon Inc., Tokyo, Japan)는 각막 정점에서 3 mm 이내의 4개의 지점을 측정하는 원리로 굴절력을 3회 반복 측정하여 평균값을 채택하게 된다.

부분결합간섭계(partial coherence interferometry)의 원리를 이용한 기기인 IOL Master[®] (Carl Zeiss Meditec, Oberkochen, Germany)는 측정되는 각막곡률은 약 2.3 mm 직경의 면에서 각막면에서 반사되는 6개의 정육각형 배열로부터 얻어진 각막곡률을 측정한다.

파면분석기 중의 한 종류인 KR-1W[®] (KR-1W, Topcon Inc., Tokyo, Japan)는 Shack-Hartmann 방식으로 수차계(aberrometry), 각막형태도(topography), 굴절계(keratometry), 동공측정계(pupillometry), 자동각막곡률계(auto-refraction)의 기능을 포함하는 기기이다.

비디오각막경 중 한 종류인 Orbscan II[®] (Bausch & Lomb, NY, USA)는 주사 세극등 방식과 플라시도 원반 방식(placido disc)을 활용한 전산 비디오각막경이며, 여러 반지름의 영역에서 각막곡률값의 계산이 가능하고, 다양한 굴절력 지도를 활용하여 각막곡률값을 얻을 수 있는 기기이다. 저자들은 Sim K (simulated keratometry), 3 mm zone K 값을 측정하였다. Sim K 값은 각막전체를 9600점 이상, 특히 중심 3 mm를 1000점 이상 측정하여 각막곡률계에 의해 부정난시를 정확히 측정할 수 있으나 기기마다 측정값의 차이가 심해 반드시 각막곡률계값과 비교해야 한다는 단점이 있다. 3 mm zone K 값은 낮았이 지형도에서 Sim K 값과 같은 방식으로 측정하되 3 mm 내의 점만을 대

상으로 하여 측정한다.

모든 대상자에게는 한 명의 시험자가 각 기기별로 3번씩 측정하였다. 각 대상자는 각 측정 후, 뒤로 물러나 앉게 하여 기기가 다음 측정 전 재조정될 수 있게 하였으며, 대상자는 측정 전 충분히 눈을 깜박이게 하였다.

통계적인 분석은 SPSS v17.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하였다. 각각의 측정에서 각막곡률은 flat K (keratometry)와 steep K의 평균값으로 하였다. 이 수치는 3번의 각각의 측정값마다 적용되었고, 이 3회의 측정값을 평균한 값으로 기기 간 비교를 시행하였다. 기기 간 측정값의 차이를 알기 위해서 측정값의 차이의 평균(mean difference)을 구하여 비교하였다. 각각의 기기의 신뢰성을 알아보기 위하여 변동계수(coefficient of variation, CV), 표준편차(standard deviation, SD), 그룹 내 변동계수(intraclass correlation coefficients, ICCs)를 이원 혼합모형을 이용하여 계산하였다. CV는 3회 측정한 값들의 평균 표준편차를 전체 평균 각막곡률로 나누어 구한 후, 100을 곱하여 % 수치로 바꾸었다. 각 기기의 각막곡률의 다중비교를 위하여 3회 반복을 개체내 요인으로, 측정기기를 개체 간 요인으로 하여 기기 간 전체 평균 차이를 반복 측정 분산분석(Repeated measures analysis of variance on ranks, RM-ANOVA on Ranks; Tukey correction)을 이용하여 비교하였다. p 값이 0.05 이하인 경우 통계적으로 의미 있는 차이로 간주하였으며, 기기 간 일치성을 평가하기 위해 Bland-Altman plot을 이용하였다. 95% 신뢰구간에서 평균 차이는 $\pm 1.96SD$ 였다.

결 과

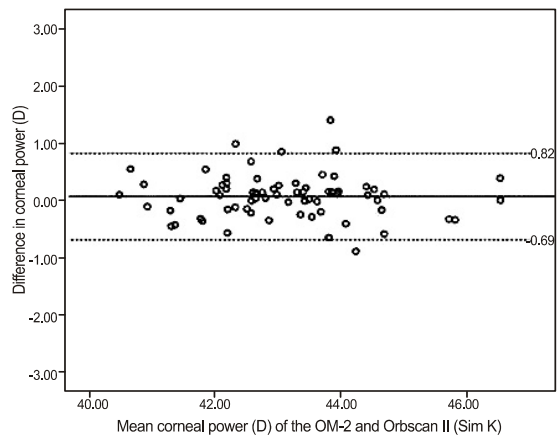
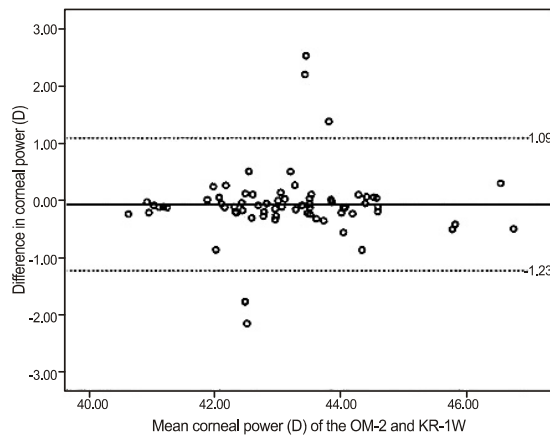
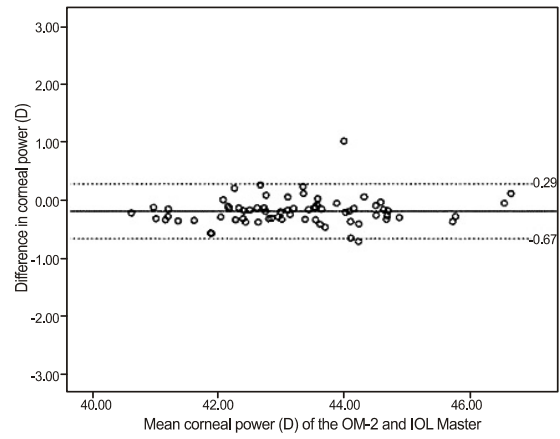
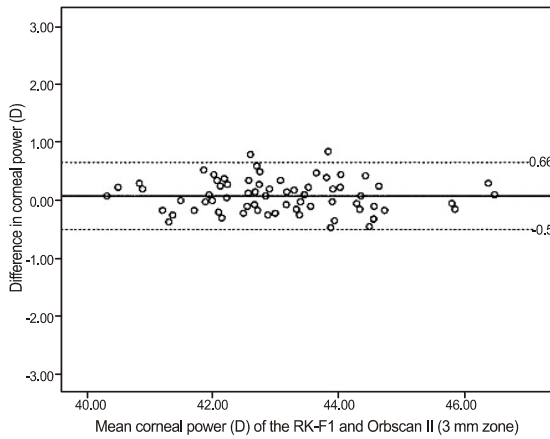
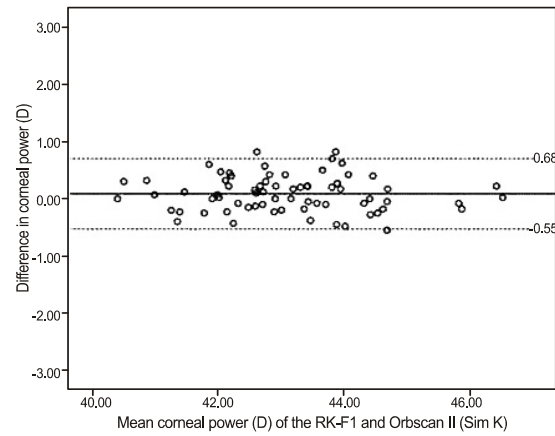
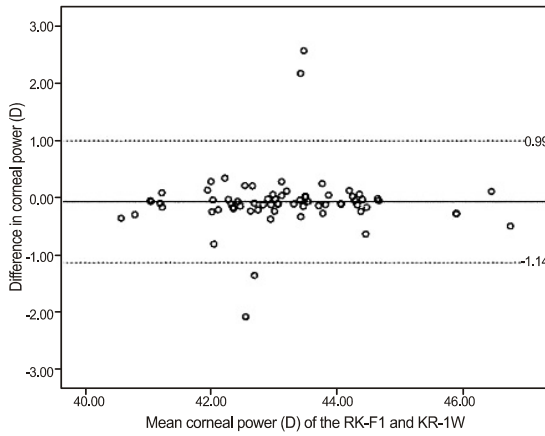
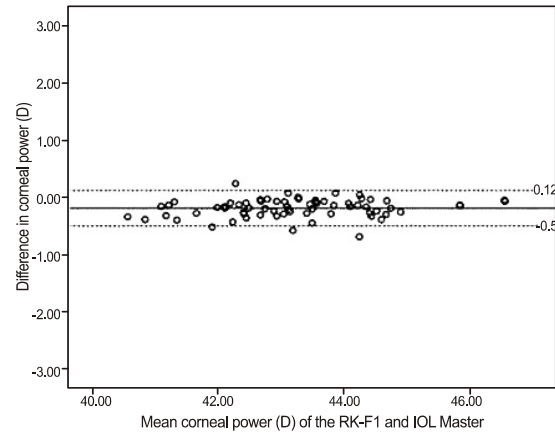
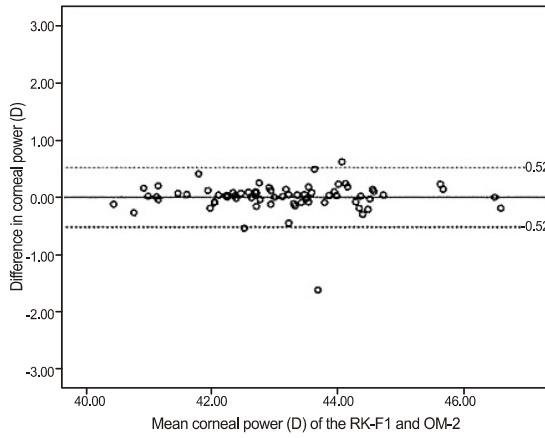
각 3회씩 측정한 70안의 평균 각막곡률값은 Table 1로 나타내었다. 5가지 기기들은 CV 값이 모두 3.06% 이하의 값을 보였고, ICCs 값은 0.965 이상이었다(Table 1).

기기 간의 평균 각막곡률의 차이는 Table 2로 표시하였으며, 자동각막곡률계 중 하나인 RK-F1[®]과 수동각막곡률계 중 하나인 OM-2[®]의 비교에서 두 기기는 통계적 차이가 없었다($p > 0.05$). 평균 각막곡률값도 RK-F1[®]은 $43.13 \pm 1.29D$,

Table 1. Results for repeatability of seven corneal curvature measurements by coefficient of variation, standard deviation, and intraclass correlation coefficient

	RK-F1 [®]	OM-2 [®]	IOL Master [®]	KR-1W [®]	Orbscan II [®] (Sim K)	Orbscan II [®] (3 mm zone K)
Mean \pm SD (D)	43.13 \pm 1.29	43.13 \pm 1.29	43.31 \pm 1.27	43.20 \pm 1.27	43.06 \pm 1.32	43.05 \pm 1.32
CV (%)	3.00	3.00	2.92	2.94	3.06	3.06
ICC	0.981	0.982	0.997	0.965	0.988	0.987

CV = coefficient of variation; D = diopters; ICC = intraclass correlation coefficient; SD = standard deviation



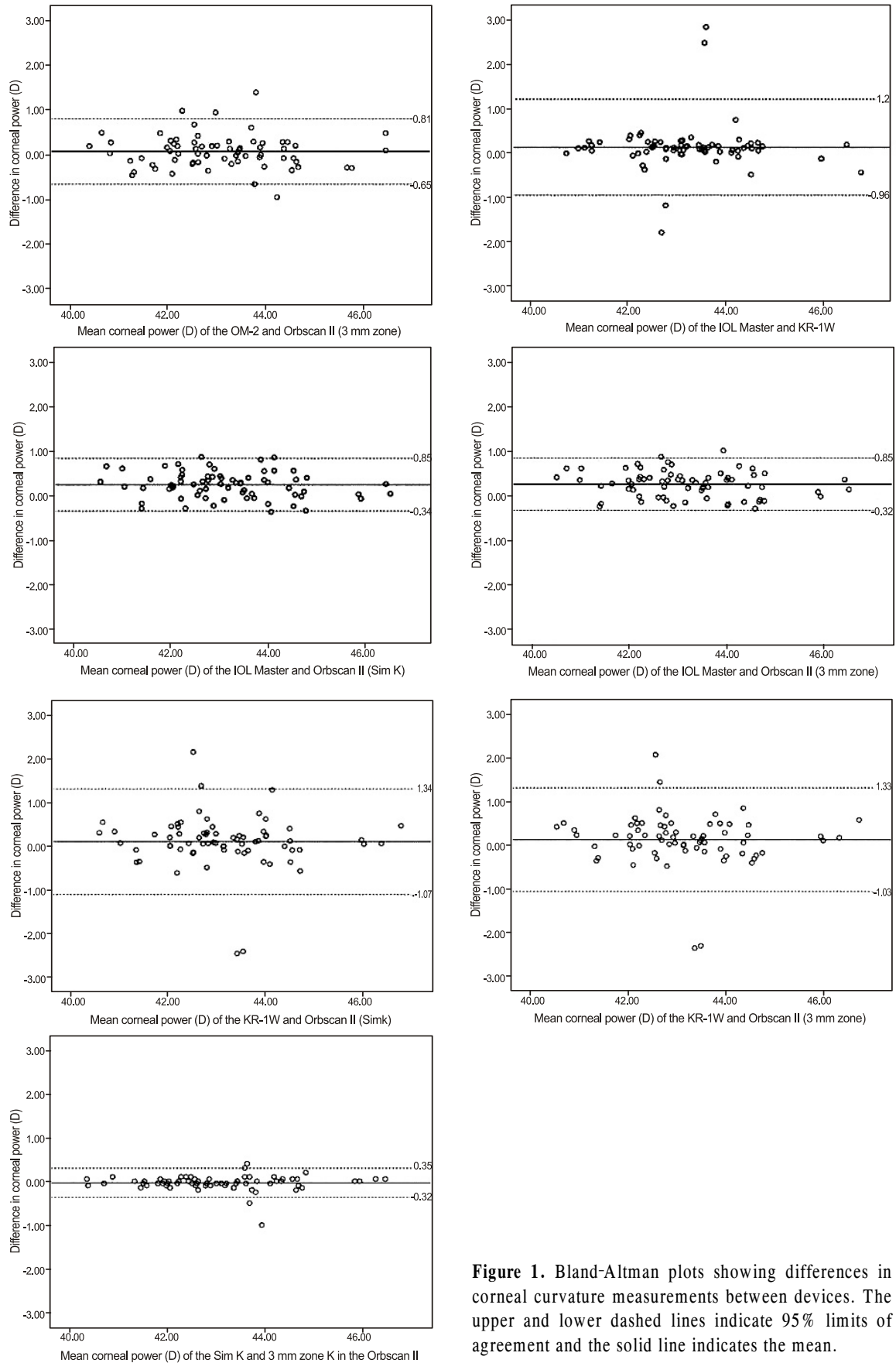


Figure 1. Bland-Altman plots showing differences in corneal curvature measurements between devices. The upper and lower dashed lines indicate 95% limits of agreement and the solid line indicates the mean.

OM-2[®]는 $43.13 \pm 1.29D$ 이었고, 각각의 CV 값은 모두 3.00%, ICCs 값은 0.981, 0.982로 비슷한 반복성을 보였다. 또한, 같은 기기에서 측정된 Orbscan II[®]의 Sim K 값과 3 mm zone에서의 평균 각막곡률값도 $43.06 \pm 1.32D$, $43.05 \pm 1.32D$ 로 두 기기 간에 통계적 차이는 없었다 ($p>0.05$).

IOL Master[®]와 KR-1W[®]는 다른 기기들과의 비교에서 모두 통계적 차이를 보였으며($p<0.05$), 평균 각막곡률값은 $43.31 \pm 1.27D$, $43.20 \pm 1.27D$ 로 다른 기기들에 비해 다소 높게 나타났다. Bland-Altman plot으로 나타낸 기기 간의 일치도에서 모든 기기들은 95% LoA (limits of agreement) 값이 $-1.23 \sim +1.34D$ 에 있었으며, 특히 RK-F1[®]과 IOL Master[®], Orbscan II[®]의 Sim K 값과 3 mm zone 그리고 OM-2[®]와 IOL Master[®]의 95% LoA가 1.0D 이하의 범위 안에 있어 높은 일치도를 보였다(Fig. 1).

OM-2[®]와 IOL Master[®]의 비교에서는 IOL Master[®]의 값이 1안에서 높게 측정되었고, OM-2[®]와 RK-F1[®], Orbscan II[®]의 비교에서는 OM-2[®]의 결과가 1안에서 높게 측정된 영향으로 벗어나는 값이 나타났다. Orbscan II[®]의 Sim K와 3 mm zone K 값의 비교에서는 각막지형도에서 이상소견은 발견되지 않았으나, 1안에서 중심부위의 각막곡률이 높게 측정되어 3 mm zone K 값이 높아 벗어나는 값이 나타났다. KR-1W[®]는 다른 기기에 비하여 높게 측정되는 각막곡률값의 영향으로 모두 1.0D 이상의 차이가 나는 값들이 존재하였다. 또한 OM-2[®]와 비교하였을 때, 다른 기기들은 0.82D 이내의 95% LoA를 보였지만, KR-1W[®]는 최대 1.23D의 차이를 나타냈다.

고 찰

근래에 소절개술 등의 백내장수술기법의 발전과 다초점 인공수정체 및 난시교정 인공수정체의 개발 그리고 인공수정체 도수계산 공식의 발전으로 수술 후 보다 정확한 굴절력 예측이 가능해졌으며, 이에 따라 수술 후 굴절상태에 대한 정확한 예측이 환자의 수술 만족도에 큰 영향을 미치게 되었다. 또한 굴절교정수술 전과 후에도 모두 정확한 각막곡률의 측정이 정확한 시력결과 예측 및 수술 후 경과관찰 등에 있어서 더욱 중요한 요소로 생각되고 있다.

백내장수술 후 굴절력의 정확한 예측을 위해서는 안축장, 각막곡률값 등의 생체계측자료 및 인공수정체 도수계산 공식의 정확성, 제조자의 인공수정체 질적 관리의 정확성 그리고 술자의 특성 등을 고려한 임상적인 변수 등 여러 가지 요소를 고려하게 된다.^{15,16}

그중 생체계측의 오차가 술 후 굴절오차에 가장 큰 영향

을 주는 것으로 알려져 있다.^{17,18}

Olsen¹과 Norrby⁶는 부정확한 각막곡률이 부정확한 인공수정체 계산 오류의 주된 원인 중 하나라고 하였으며, Jo et al¹⁹은 굴절오차에 있어 각막곡률의 0.5D의 오차는 $\pm 1.17D$ 의 인공수정체 도수 차이를 가져올 수 있다고 하였다.

최근 자동각막곡률계, 컴퓨터를 응용하여 개발된 비디오 각막경, 그리고 부분간접계 등이 이용되면서 생체계측의 정확성은 많은 부분 증진되었으며, 여러 연구에서 우수한 정확성 및 재현성이 보고되고 있다.^{5,12,13,15,16} 하지만 아직도 이런 기기 간의 측정값은 다소 차이가 나고 있으며, 근래의 수술 후 결과에 대한 높은 기대감에 부응하기 위해서는 새로 개발된 기기들은 기존 기기들과의 성능에 대한 비교가 필수적이다.

본 논문에 사용된 다섯 가지의 기기들 중 기존 4개의 기기들은 여러 논문들에서 그 정확성에 대한 우수성과 신뢰성을 입증받아 왔다.¹⁷⁻²³ 하지만 2009년도에 개발된 파면 분석기인 KR-1W[®]는 기존의 수차계와 비교하여 그 가용성을 인정 받아오며 여러 가지 기능으로 보급되고 있으나 실질적인 기존의 기기들과의 비교에 대한 검증은 아직 미흡하였다. 이 논문의 목적은 RK-F1[®], OM-2[®], IOL Master[®], KR-1W[®], Orbscan II[®] 기기에서 측정된 각막곡률의 반복성과 비교성을 비교하고, KR-1W[®]의 측정값 중 하나인 각막곡률의 신뢰성을 기존의 기기들과 비교하고자 함이었다.

CV 수치는 낮을수록 높은 반복성을 의미하며, ICC는 반복된 검사값의 연관성이나 일관성을 의미하는데, Table 1에서 나타난 바와 같이 여섯 가지 각막곡률값은 각 기기에서 서로 비슷한 반복성과 신뢰성을 보여주었다. 본 연구의 모든 기기는 2.92% (IOL master[®])에서 3.06% (Orbscan II[®]) 값을 보여 기기 간 비슷한 반복성을 나타냈으며, 신뢰성에 있어서도 ICCs는 모두 0.965 이상의 값을 보였다. 이전 보고에서의 IOL Master[®]의 ICCs 값은 Shirayama et al²⁴가 0.996으로 보고하였으며, Orbscan II의 ICCs 값은 Kawamorita et al²³가 0.97, 0.96라고 하였다.

기기 간의 비교에서 RK-F1[®]과 OM-2[®], Orbscan II[®]의 Sim K, 3 mm zone K의 값이 높은 연관성을 나타냈다. 이는 RK-F1[®]과 OM-2[®] 모두 약 3 mm 안의 비슷한 크기의 각막 직경에서 몇 개의 대표점을 통한 평균값을 통해 측정하므로 비슷한 수치를 나타낸 것으로 보이며, Orbscan II[®]의 Sim K, 3 mm zone K의 값은 Sim K 값의 측정 시 1000 개 가량의 측정지점이 중심 3 mm에 집중되어 있으므로, 상대적으로 높은 연관성을 보인 것으로 생각된다.

본 논문에서 IOL Master[®]는 KR-1W[®]와 함께 다른 기기들에 비하여 높은 각막곡률값을 보이며, RM-ANOVA

on Ranks에서 다른 기기와 유의한 차이를 보였다(Table 2). IOL Master[®]와 KR-1W[®]의 비교를 제외하고 다른 기기와 각막곡률값 차이의 평균은 IOL Master[®]가 0.2551D로 0.1377D의 KR-1W[®]보다 높은 평균값을 나타냈는데, 95% LoA의 비교에서는 최대 0.85D (Orbscan II[®]와의 upper 95% LoA)의 범위의 값을 보인 IOL Master[®]보다 KR-1W[®]가 최대 1.23D (OM-2[®]와의 Lower 95% LoA)로 상대적으로 높은 범위의 차이를 보였다.

여러 논문에서 자동각막곡률계와 IOL Master[®]와의 비교에서 IOL Master[®]의 상대적으로 높은 각막곡률값을 보고한 바 있고,^{8,24,25} Shirayama et al²⁴은 수동각막곡률계와 IOL Master[®]를 비교했을 때 IOL Master[®]가 평균 0.16 D의 높은 각막곡률값을 보였다고 하였다. Elbaz et al⁸은 그 이유를 기기마다 측정범위가 달라서 생긴 것으로 보았고, Shirayama et al²⁴도 정상적인 장형의 각막에서 좀 더 중심에서 측정될수록 가파른 각막곡률이 측정될 가능성이 높아져 상대적으로 좁은 직경인 약 2.5 mm의 영향으로 IOL Master[®]에서 각막곡률값이 높게 측정된다고 하였다. 본 논문에서도 IOL Master[®]의 측정값이 높았던 이유가 이와 같은 이유 때문일 것으로 생각되었다.

Elbaz et al⁸은 RK-F1[®]과 IOL Master[®]의 일치도를 1.204D로 보고하였고, Huynh et al²⁵는 평균 0.84D로 보고하였는데 본 연구에서는 95% LoA 범위가 0.62D이었다. 두 기기는 통계적으로 유의한 차이를 보였지만 평균 차이는 0.19D로 임상적으로 근소한 차이를 보였다. OM-2[®]와 IOL Master[®]의 비교에서 Shirayama et al²⁴은 0.45D의 일

치도를 보고하였는데, 본 연구는 0.96D의 범위를 보였지만, 평균 차이는 0.19D로 임상적 의미는 크지 않을 것으로 보였다.

이와 같은 내용을 종합하여 볼 때 RK-F1[®]과 OM-2[®], Orbscan II[®]의 Sim K와 3 mm zone K의 값은 서로 연관성이 높았으며, 비교적 다른 기기에 비해 높은 각막곡률값을 보인 IOL Master[®]도 KR-1W[®]와의 비교를 제외하고 임상적으로는 다른 기기와 큰 차이가 나지 않았다.

KR-1W[®]는 각막곡률값이 높게 나오는 경향이 있고, Bland-Altman plot에서 다른 기기와의 비교에서 나타나듯이 1.0D 이상의 차이가 간혹 나타날 수 있음을 염두에 두어야 할 것으로 생각되지만, 이미 여러 논문에서 그 반복성 및 신뢰성이 입증된 다른 기기들과 비교하여 뒤지지 않는 우수한 반복성을 나타내어 측정되는 각막곡률값의 신뢰성을 높여주었다. 다른 기능이 복합된 KR-1W[®]의 장점을 고려한다면 추후 백내장수술 등의 각막곡률 측정이 필요할 때 또 하나의 신뢰성 있는 측정기기의 대안으로 고려해 볼 수 있을 것이다.

본 논문은 측정원리가 다른 여러 가지 기기들을 대상으로 각막곡률값을 비교하였다. 따라서 측정원리 및 기기의 특성에 따라 영향을 받는 요인, 측정반경 등의 차이로 측정값의 차이가 나타났을 것이다. 기기들은 서로 비슷한 반복성 및 신뢰성을 보였고, 기기 간의 각막곡률값의 차이의 평균은 -0.1891D (RK-F1[®]과 IOL Master[®])에서 0.2551D (IOL Master[®]와 Orbscan II[®]의 Sim K)의 값을 보였지만, Bland-Altman plot에서 모든 기기의 각막곡률값의 95%

Table 2. Results for the comparison of the 6 corneal curvature measurements among devices

Differences between devices	Mean (D)	SD (D)	Upper LoA (D)	Lower LoA (D)	RM-ANOVA on ranks (p)
RK-F1 [®] vs. OM-2 [®]	-0.0007	0.2671	0.52	-0.52	0.982
RK-F1 [®] vs. IOL Master [®]	-0.19	0.1574	0.12	-0.50	<0.001
RK-F1 [®] vs. KR-1W [®]	-0.07	0.5431	0.99	-1.14	0.027
RK-F1 [®] vs. Orbscan II [®] (Sim K)	0.07	0.3128	0.68	-0.55	0.082
RK-F1 [®] vs. Orbscan II [®] (3 mm zone K)	0.06	0.2946	0.66	-0.50	0.273
OM-2 [®] vs. IOL Master [®]	-0.19	0.2441	0.29	-0.67	<0.001
OM-2 [®] vs. KR-1W [®]	-0.07	0.6050	1.09	-1.23	0.033
OM-2 [®] vs. Orbscan II [®] (Sim K)	0.07	0.3868	0.82	-0.69	0.154
OM-2 [®] vs. Orbscan II [®] (3 mm zone K)	0.06	0.3489	0.81	-0.65	0.076
IOL Master [®] vs. KR-1W [®]	0.12	0.5501	1.20	-0.96	0.038
IOL Master [®] vs. Orbscan II [®] (Sim K)	0.26	0.3031	0.85	-0.34	<0.001
IOL Master [®] vs. Orbscan II [®] (3 mm zone K)	0.25	0.2957	0.85	-0.32	<0.001
KR-1W [®] vs. Orbscan II [®] (Sim K)	0.14	0.6136	1.34	-1.07	0.045
KR-1W [®] vs. Orbscan II [®] (3 mm zone K)	0.14	0.5948	1.33	-1.03	0.038
Orbscan II [®] (Sim K) vs. Orbscan II [®] (3 mm zone K)	-0.0021	0.2070	0.35	-0.32	0.547

The mean difference, SD, upper LoA, lower LoA, RM-ANOVA on Ranks are displayed for each pair of devices.

D = diopters; SD = standard deviation; LoA = 95% limits of agreement; RM-ANOVA on Ranks = repeated measures analysis of variance on ranks; 15 comparisons were made for each device pair (3 measurements each).

LoA는 $-1.23 \sim +1.34D$ 사이에 있었으며 KR-1W[®]을 제외하면 $-0.69 \sim +0.85D$ 사이의 범위에 있었다. 물론 이러한 통계결과를 보여준 CV, ICCs나 Bland-Altman plot의 95% LoA 값 등은 임상적 허용치보다 작아야 의미가 있을 것이다. 임상적 허용치는 이전 연구에서 절대값으로 결정된 적은 없었으며, 이 점에 대해서는 추후 임상적으로 유용한 허용치를 결정하는 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각되지만, 기존의 Jo et al¹⁹의 보고에서와 같이 각막곡률 0.5D의 차이가 $\pm 1.17D$ 의 인공수정체 도수차이를 가져올 수 있음을 생각한다면 본 연구에서 보인 기기 간의 차이는 작지 않은 것이라고 생각이 되며, 특히 KR-1W[®]은 1.0D 이상의 차이가 날 수 있음을 측정 시 유념해야 할 것이다.

하지만, 추후 기기들의 복합된 기능에 대한 평가와 측정 값의 보정을 바탕으로 기기들의 개선이 이루어진다면 이상적인 측정기기의 단일화 및 이상적인 수술 후 굴절력의 성취도 기대해 볼 수 있을 것이다. 또한 연령별로 각막곡률이 변화됨을 고려하여²⁶⁻²⁸ 추후 연령별 변화에 맞추어 좀 더 많은 수의 대상자의 각막곡률값을 측정한다면 세분화된 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 그러한 결과를 토대로 노인백내장에서 인공수정체 도수 결정 시에도 유용한 도움이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 1992;18:125-9.
- 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.
- Koranyi G, Lydahl E, Norrby S, Taube M. Anterior chamber depth measurement: a-scan versus optical methods. J Cataract Refract Surg 2002;28:243-7.
- Hosny M, Alio JL, Claramonte P, et al. Relationship between anterior chamber depth, refractive state, corneal diameter, and axial length. J Refract Surg 2000;16:336-40.
- Olsen T. Prediction of the effective postoperative (intraocular lens) anterior chamber depth. J Cataract Refract Surg 2006;32:419-24.
- Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 2008;34:368-76.
- 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.
- 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.
- 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.
- Holzer MP, Mamusa M, Auffarth GU. Accuracy of a new partial coherence interferometry analyser for biometric measurements. Br J Ophthalmol 2009;93:807-10.
- Choi JH, Roh GH. The reproducibility and accuracy of biometry parameter measurement from IOL Master[®]. J Korean Ophthalmol Soc 2004;45:1665-73.
- 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.
- 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.
- Speicher L. Intra-ocular lens calculation status after corneal refractive surgery. Curr Opin Ophthalmol 2001;12:17-29.
- Holladay JT, Prager TC, Ruiz RS, et al. Improving the predictability of intraocular lens power calculations. Arch Ophthalmol 1986;104:539-41.
- Mamalis N. Complications of foldable intraocular lenses requiring explanation or secondary intervention--1998 survey. J Cataract Refract Surg 2000;26:766-72.
- Shin YJ, Kim NH, Kim DH. Comparison of pentacam with Orbscan. J Korean Ophthalmol Soc 2007;48:637-41.
- Park SJ, Wee WR, Lee JH, Kim MK. Comparison of wavescan aberrometer refraction to subjective manifest refraction and autorefractor. J Korean Ophthalmol Soc 2009;50:684-90.
- Jo DH, Oh JY, Kim MK, et al. Corneal power estimation using Orbscan II videokeratography in eyes with previous corneal refractive surgeries. J Korean Ophthalmol Soc 2009;50:1730-4.
- Solomon KD, Fernandez de Castro LE, Sandoval HP, Vroman DT. Comparison of wavefront sensing devices. Ophthalmol Clin North Am 2004;17:119-27.
- Cairns G, McGhee CN. Orbscan computerized topography: attributes, applications, and limitations. J Cataract Refract Surg 2005;31:205-20.
- 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.
- 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.
- Shirayama M, Wang L, Weikert MP, Koch DD. Comparison of corneal power obtained from 4 different devices. Am J Ophthalmol 2009;148:528-35.
- Huynh SC, Mai TQ, Kifley A, et al. An evaluation of keratometry in 6-year-old children. Cornea 2006;25:383-7.
- Kiely PM, Smith G, Carney LG. Meridional variations of corneal shape. Am J Optom Physiol Opt 1984;61:619-26.
- Hayashi K, Hayashi H, Hayashi F. Topographic analysis of the changes in corneal shape due to aging. Cornea 1995;14:527-32.
- Kim CS, Kim SY, Park YH, Lee YC. Change in ocular dimensions with age in patients with emmetropia. J Korean Ophthalmol Soc 2008;49:425-32.

=ABSTRACT=

Comparison of Corneal Curvatures Obtained with Different Devices

Soyoon Kim, MD, Sung Kun Chung, MD, PhD

*Department of Ophthalmology and Visual Science, Yeouido St. Mary's Hospital,
The Catholic University of Korea College of Medicine, Seoul, Korea*

Purpose: To evaluate device efficacy using the corneal curvature value.

Methods: Prospectively, 35 patients (70 eyes) were enrolled in the present study. Three sets of corneal curvature values were obtained using the autorefractor (RK-F1[®]), manual keratometer (OM-2[®]), partial coherence interferometry keratometer (IOL Master[®]), wavefront analyzer (KR-1W[®]), and videokeratography (Orbscan II[®]). Repeatability of each device was evaluated by coefficient of variation, standard deviation, and intraclass correlation coefficient. RM-ANOVA on ranks was used to compare the differences in corneal curvatures among the devices. The Bland-Altman plot was performed to assess measurement agreement among the devices.

Results: The coefficient of variation values from each device ranged from 2.92% (IOL master[®]) to 3.06% (Orbscan II[®]), and the values of intraclass correlation coefficient ranged from 0.965 (KR-1W[®]) to 0.997 (IOL master[®]). Compared with the manual keratometer, there was a maximum corneal curvature difference of 1.23 D in KR-1W[®], while the other devices had differences less than 0.82 D.

Conclusions: When assessing corneal curvature, the repeatability values were similar among the 5 devices, although a difference greater than 1 D was observed when comparing the KR-1W[®] to the manual keratometer.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(5):618-625

Key Words: Corneal curvature, Keratometry

Address reprint requests to **Sung Kun Chung, MD, PhD**

Department of Ophthalmology, The Catholic University of Korea, Yeouido St. Mary's Hospital

#63-ro 10, Yeongdeungpo-gu, Seoul 150-713, Korea

Tel: 82-2-3779-1150, Fax: 82-2-761-6869, E-mail: eyedoc@catholic.ac.kr