

# Comparison and Correlation of Measured Values Obtained Using Automatic Corneal Refractometers

Kyoung-Hee Park\*

Dept. of Ophthalmic Optics, Shinhan University, Professor, Uijeongbu-si, 11644, Korea  
(Received December 3, 2024: Revised December 17, 2024: Accepted December 24, 2024)

**Purpose:** This study aimed to compare spherical refractive power, cylindrical refractive power, axis, corneal refractive power, corneal astigmatism axis, and interpupillary distance obtained using various automatic corneal refractometers. **Methods:** Statistical processing of data was performed using SPSS 20.00 descriptive statistics, repeated design ANOVA, corresponding sample *t* test, and Pearson correlation analysis. Statistical significance was determined at a 95% confidence level ( $p < 0.05$ ). Results: A comparison of the measured values of R1 and R2 with those from the same company showed that R2 exhibited greater spherical surface, circumference, and corneal refractive power. Furthermore, R1 and R3 from the other company showed differences, with R3 having a higher spherical edge. These variations resulted in differences in the overall astigmatism axis and the corneal astigmatism axis between the two devices ( $p < 0.05$ ). A comparison of the measured values of R1 and R4 revealed that the spherical refractive power, cylindrical refractive power, and corneal refractive power of R4 were all higher. A comparison of the measured values of R2 and R3 showed that the spherical refractive power and the corneal refractive power of R2 were higher ( $p < 0.05$ ). The spherical refractive power, corneal refractive power, and interpupillary distance measured using all four devices showed a high correlation. **Conclusions:** The spherical refractive power, cylindrical refractive power, and corneal refractive power measured using an automatic corneal refractometer may vary. It is recommended that the objective refraction test be used as an approximate value for refractive error before conducting the subjective refraction test. To enhance the reliability of optometrists' subjective refraction testing methods, the implementation of accurate testing methods and continuous education is essential.

**Key words:** Objective refraction, Automatic corneal refractometer, Subjective refraction, Refractive power measurement, Wavefront measurement

## 서 론

타각적굴절검사는 검사자와 피검사자의 질문 및 답변 과정 없이 굴절이상도를 측정하는 방법으로 피검사자가 특정 물체에 시선을 고정시키는 협조가 필요하며 검사자가 굴절검사기기의 특정한 광선을 피검사자의 각막 또는 안저에 투입시켜 반사되어 되돌아 나오는 반사광선의 형태를 파악하여 굴절상태를 측정하는 검사이다.<sup>[1]</sup> 굴절이상 은 출생부터 유아기까지 대부분 원시로 시작되어 나이가 들어감에 따라 정시, 근시로 변화되며 40대부터는 노인성 원시로 변화되는 경향이 강하며 난시의 경우 나이가 들수록 변화한다고 알려져 있다.<sup>[2]</sup> 안경원 및 안과에서 자동안 굴절력계검사는 굴절검사 시 검사자의 기술력에 큰 영향을 받지 않는 타각적검사방법으로 자각적 굴절검사를 시행하기 전에 선행되는 보편적인 검사방법이다. 자동굴절 검사기기는 굴절이상도를 측정하는 기능과 각막의 곡률을

측정하는 Keratometer 기능, 조절개입을 배제하기 위한 운 무기능을 가지고 있다.<sup>[3]</sup> 자동안굴절력계는 Scheiner와 Shack-Hartmann 원리를 이용한 다양한 검사방법이 사용되고 있다. 자동 안굴절력계로 측정한 굴절이상도 측정값에 대한 많은 선행 연구가 있으며,<sup>[4-6]</sup> 대부분의 굴절검사에서 사용되는 Scheiner 방법은 두 개의 발광다이오드 빛이 바늘구멍을 지나 망막에서 반사되어 나오는 것을 인식하여 두 개의 상이 하나로 합해질 때 측정되는 굴절량을 구하는 것으로 이 원리를 이용한 검사기기의 정확도에 대해 진행된 연구에서 Kinge B는 Allergan Humphrey 500 자동 안굴절력계와 Nidek AR-1000 자동안굴절력계를 이용하여 측정한 값과 현성 굴절검사를 비교한 결과 두 기기 모두 구면렌즈대응치가 0.11 D에서 0.23 D 정도 근시가 높게 측정되었지만 두 기기 모두 현성 굴절검사값과 높은 상관 관계가 나타났다(Fig. 1).<sup>[7]</sup> 다른 측정방식인 Hartmann Shack 파면수차 측정원리는 Microlens Array라 하는 초점

\*Corresponding author: Kyoung-Hee Park, TEL: +82-31-870-3431, E-mail: khpark@shinhan.ac.kr  
Authors ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8873-8290>

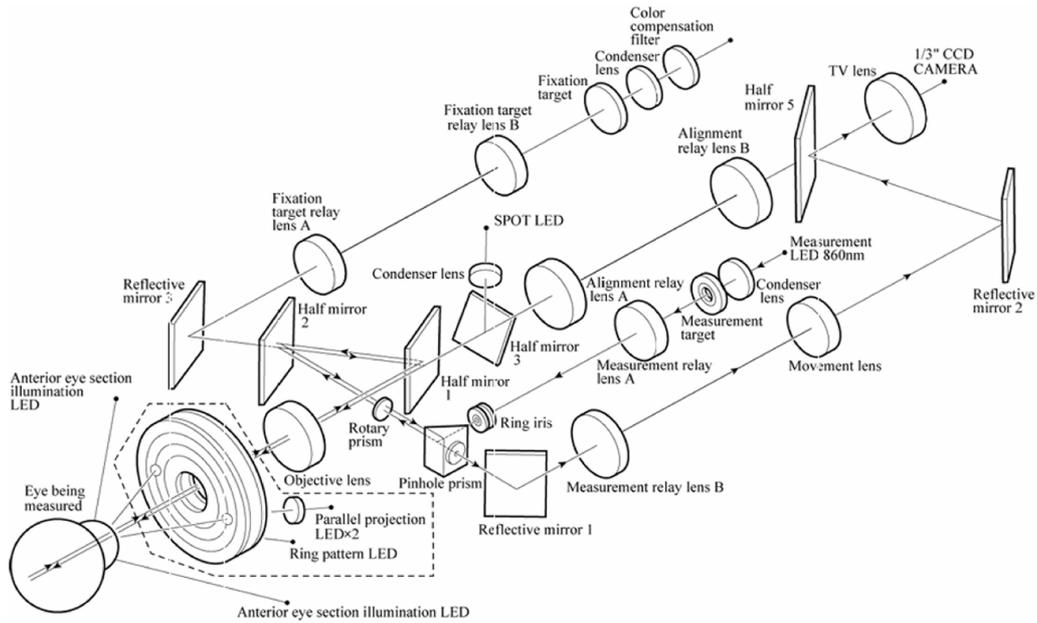


Fig. 1. Scheiner's optical measurement principle in an auto refractometer (Topcon Healthcare KR-800A's example).

길이의 렌즈 조합을 통과하고 렌즈의 초평면에 있는 CCD 카메라 탐지기로 초점이 맺힌 점의 위치를 인식하여 변형된 파면수차를 측정하는데 용이하다(Fig. 2).<sup>[8]</sup> 최근 사용되는 자동안굴절력계는 피검사자의 전체 굴절력 뿐 아니라 동공간거리를 자동으로 측정이 가능하며 각막곡률, 두주경선의 굴절력 및 각막난시 측정이 가능한 각막굴절력 측정기능이 추가되어 있다. 자동안굴절력계의 경우 손쉽고 빠르게 측정이 가능한 반면 조절상태에서 측정된 경우 오차가 발생하는 것으로 알려져 있어 자동 측정모드를 사용하는 경우 3번을 측정한 평균값을 참고하여 자각적 굴절검사를 실시한다. 초등학생을 대상으로 한 자동굴절검사를 이용한 굴절검사값과 조절마비제를 사용하지 않고 iTrace로 조절력을 배제한 굴절력 측정값을 비교한 결과 5 m 이상의 원거리 응시 후 iTrace로 측정한 굴절검사 굴절력은  $0.79 \pm 0.34$  D 차이를 보여 자동굴절검사 값이 감소된 굴절력을 나타내었다.<sup>[9]</sup> 또한 WaveScan 수차계의 굴절량과 현성굴절검사 및 자동굴절검사의 굴절량을 비교

한 결과 WaveScan 수차계로 측정한 굴절량은 다른 검사법에 비해 약간의 근시성 경향을 띄는 것으로 나타났으며,<sup>[10]</sup> 어린이 대상 조절마비 굴절검사 후 부작용 발생비율이 10.83%로 조사되었다.<sup>[11]</sup> 2050년 세계 인구의 50%가 근시가 될 것으로 추정되며 증가율은 국가 경제 발전과 함께 가속화를 보여주며 대만과 한국과 같은 일부 아시아 국가에서는 고도근시 비율이 10~15년 사이에 3배로 증가하여 근시에 대한 관심도가 높아지고 있다.<sup>[12]</sup> 이러한 흐름을 반영하여 안경사의 굴절검사 정확도 또한 중요하며 초보 안경사의 경우 자각적 굴절검사의 숙련도가 높지 않아 타각적 굴절검사값을 신뢰하는 경향이 높으므로 측정값의 신뢰도 검증 또한 중요하다. 다른 측정 원리의 자동안굴절력계로 굴절이상도 및 각막굴절력을 비교한 연구도 진행되었으나<sup>[10]</sup> 동일한 회사의 같은 측정 원리를 비교한 연구 및 같은 측정 원리를 사용한 다른 회사 기기를 비교하는 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 같은 피검사자를 대상자를 하여 안경원 및 안과에서 많이 사용되는 폐쇄형 자동안굴절력계 4종류를 사용하여 굴절이상 정도 및 각막난시, 난시 축, 각막굴절력 및 동공간거리를 측정함으로써 신뢰도가 높은 기기와 측정방식의 차이에 따른 기기별 측정값의 차이와 상관 정도를 알아보려고 한다.

대상 및 방법

1. 대상

2022년 8월 15일부터 9월 15일까지 경기도 지역 안경광

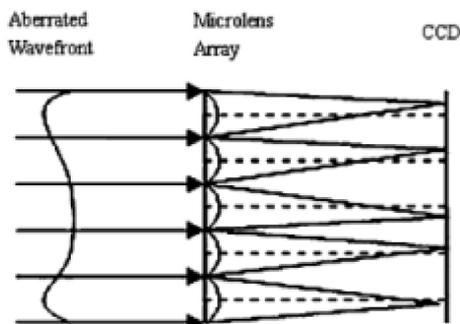


Fig. 2. Hartmann-Shack wavefront technology in an auto

Table 1. General characteristics of participants involved in the study

Variable	N	%	
Gender	Male	32	58.2
	Female	23	41.8
Total	55	100.0	

학과 재학생 53명(남자 32명, 여자 21명), 평균나이 24세(21~41세)로 연구에 참여한 대상자에게 실험 목적과 검사 방법에 대하여 구두로 충분히 연구의 의도를 설명하고 동의를 얻고 굴절검사기 사용에 익숙한 한 명의 검사자가 자동안굴절력계 측정을 실시하였다(Table 1).

## 2. 방법

### 1) 대상자 특성 및 측정방법

대상자는 총 4 종류의 자동안굴절력계인 Huvitz HRK-7000A(Korea), Huvitz HRK-9000A(Korea), Topcon KR-800A(Japan), NIDEK ARK-1(Japan)을 사용하여 조절개입을 최소화 하고자 자동 측정모드로 3번 측정 후 나온 평균값을 사용하였다(Table 2). 측정값의 굴절이상도는 0.25 D, 축은 °, 동공간거리는 mm 단위를 사용하였다. 한 명의 검사자는 피검사자의 컨디션 차이, 외부환경에 따른 측정오차를 줄이고자 같은 실험 장소에서 조도(약 150~200 lux)하에서 같은 날 1 시간의 간격을 두고 측정하였다. 소프트 콘택트렌즈 착용자는 렌즈 제거 후 10분 이상 휴식하여 눈물안정화 시간을 가진 후 측정하였다.

### 2) 통계처리

수집된 자료 분석 및 통계는 SPSS 20.00(SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였다. 설문자 전체의 특성을 파악하기 위해 기술통계를 실시하였다.

또한 측정된 구면 굴절력, 난시 굴절력, 난시 축, 각막난시, 각막난시 축, 동공간거리를 반복설계 분산분석, Bonferroni 사후검정, 대응표본 T 검정, Pearson 상관계수를 사용하여 상관분석을 실시하였다. 통계적 유의성은 신뢰수준 95% ( $p<0.05$ )로 판단하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 대상자 측정 결과

대상자 53명의 평균나이는  $24.06\pm 3.44$ 이며 첫 번째 기계(R1)로 측정된 구면도수는 평균  $-2.21\pm 2.81$ , 원주도수는 평균  $-1.07\pm 0.96$ , 각막난시는 평균  $-1.36\pm 0.82$ , 동공간거리는 평균  $63.36\pm 4.06$  으로 측정되었다. 두 번째 기계(R2)로 측정된 구면도수는 평균  $-2.55\pm 2.67$ , 원주도수는 평균  $-1.15\pm 0.97$ , 각막난시는 평균  $-1.47\pm 0.83$ , 동공간거리는 평균  $63.60\pm 4.06$  으로 측정되었다. 세 번째 기계(R3)로 측정된 구면도수는 평균  $-2.47\pm 2.78$ , 원주도수는 평균  $-1.09\pm 0.93$ , 각막난시는 평균  $-1.33\pm 0.75$ , 동공간거리는 평균  $63.57\pm 3.76$  으로 측정되었다. 네 번째 기계(R4)로 측정된 구면도수는 평균  $-2.54\pm 2.83$ , 원주도수는 평균  $-1.13\pm 0.85$ , 각막난시는 평균  $-1.46\pm 0.78$ , 동공간거리는 평균  $63.32\pm 3.95$  으로 측정되었다(Table 3). 웨이브프론트 방식을 이용한 라섹 수술 시 수술 전 자동굴절검사, 현성굴절검사, 조절마비하 굴절검사, 조절마비회복 후 굴절검사, Wavescan, iTrace 수차계로 검사한 결과 Wavescan을 이용한 굴절량이 다른 기계적 검사법보다 정확하다는 선행연구와는 다른 결과를 보여준다.<sup>[13]</sup> 본 연구에서는 동일한 회사의 같은 측정방식인 Hartmann-Shack 파면수차로 측정된 R1에 비해 R2의 구면도수, 원주도수, 각막난시가 높게 측정되어 기기 간의 신뢰도가 낮은 것으로 분석된다.

Table 2. Specifications of the four refractive examination instruments

Instrument	<sup>a</sup> R1	<sup>b</sup> R2	<sup>c</sup> R3	<sup>b</sup> R4	
Measurement range	<sup>a</sup> Sph (D)	-25.00~+22.00 (increments 0.12, 0.25)	-30.00~+25.00 (increments 0.01, 0.12, 0.25 D)	-25.00~+22.00 (increments 0.12, 0.25 D)	-30.00~+25.00 (increments 0.01, 0.12, 0.25 D)
	<sup>b</sup> Cyl (D)	0.00~±10.00 (increments 0.12, 0.25)	0.00~±12.00 (increments 0.01, 0.12, 0.25)	0.00~±10.00 (increments 0.12, 0.25)	0.00~±12.00 (increments 0.01, 0.12, 0.25)
	<sup>c</sup> Ax (°)	1~180	-, +, ± (Mixed)	0~180 (increments 1/5)	0~180 (increments 1/5)
	<sup>d</sup> R.C. (mm)	5.0~10.2 (increments 0.01)	5.0~13.0 (increments 0.01)	5.0~10.0 (increments 0.01)	5.0~13.0 (increments 0.01)
Features	Wavefront analysis technology	Wavefront analysis technology	Scheiner's measurement principle	Scheiner's measurement principle	
	Micro lenslet array	Micro lenslet array	3D auto alignment function	-	
	Auto Tracking	Auto Tracking	Auto Tracking	Auto Tracking	
	-	Subjective VA Test	Cataract mode	-	
Manufacturing/Brand	Korea/Huvitz	Korea/Huvitz	Japan/Topcon	Japan/NIDEK	

<sup>a</sup>Sph: Spherical, <sup>b</sup>Cyl: Cylinder, <sup>c</sup>Ax: Axis, <sup>d</sup>R.C: Radius of curvature

<sup>a</sup>R1: HRK-7000A, <sup>b</sup>R2: HRK-9000A, <sup>c</sup>R3: KR-800A, <sup>b</sup>R4: ARK-1

Table 3. Statistical analysis based on measurements from all four instruments

Instruments		Statistics				
		N	Minimum	Maximum	Mean	Std.
R1	Spherical (D)	106	-10.75	2.25	-2.21	2.81
	Cylinder (D)	103	-3.50	0.50	-1.07	0.97
	Axis (°)	103	0	180	83.75	74.11
	Keratometer (D)	106	-3.25	1.75	-1.36	0.82
	Cornea Axis (°)	106	0	180	97.92	80.92
	Pupil distance (mm)	106	56	71	63.36	3.68
R2	Spherical (D)	106	-10.75	1.25	-2.55	2.67
	Cylinder (D)	106	-4.00	0.50	-1.15	0.97
	Axis (°)	106	0	180	84.19	75.99
	Keratometer (D)	104	-4.10	-0.20	-1.47	0.83
	Cornea Axis (°)	104	0	180	102.01	80.01
	Pupil distance (mm)	106	57	73	63.60	4.06
R3	Spherical (D)	106	-11.25	2.00	-2.47	2.78
	Cylinder (D)	105	-3.75	0.25	-1.09	0.93
	Axis (°)	105	.00	180	111.98	69.68
	Keratometer (D)	106	-3.00	0.00	-1.33	0.75
	Cornea Axis (°)	106	.00	180	117.67	75.71
	Pupil distance (mm)	106	53.00	71.00	63.57	3.79
R4	Spherical (D)	106	-11.75	2.50	-2.54	2.83
	Cylinder (D)	106	-3.25	0.00	-1.13	0.85
	Axis (°)	106	0	180	87.88	74.31
	Keratometer (D)	105	-3.50	-0.25	-1.46	0.78
	Cornea Axis (°)	105	1	180	97.13	80.71
	Pupil distance (mm)	106	56	73	63.32	3.95

\*R1: Huvitz HRK-7000A, R2: Huvitz HRK-9000A, R3: Topcon KR-800A, R4: NIDEK ARK-1

## 2. 통계방법에 따른 측정치 분석

본 연구에서는 각각의 기기로 측정된 구면도수, 원주도수, 축, 각막난시, 각막난시 축, 동공간거리를 측정 방식 및 기기별로 알아보고자 반복설계 분산분석 및 대응표본 t검정을 실시하였다.

### 1) 구면도수, 원주도수, 난시 축 분석

반복설계 분산분석을 통한 구면도수 차이에 대한 통계적 유의성 검정 결과, F 통계값은 23.537, 유의확률은 0.000로 나타났으며 원주도수는 F 통계값은 3.352, 유의확률은 0.019로 나타났다. 또한 반복설계 분산분석을 통한 난시 축 차이에 대한 통계적 유의성 검정 결과, F통계값은 6.640, 유의확률은 0.000으로 유의수준 0.05에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 다른 측정치는 통계적으로 차이가 발생하지 않았다.

### 2) 대응표본 t검정을 통한 측정치 분석

#### 2.1. 동일한 회사의 다른 기기 측정 결과

동일한 회사의 다른 기기인 R1과 R2의 측정값을 비교한 결과 R2의 구면도수, 원주도수 및 각막굴절력 모두 더 높게 측정되었으며( $p < 0.05$ ), 난시 축, 각막난시 축 및 동공간거리 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다. 웨이브프론트 측정방식을 사용하여 같은 방식으로 제작되었다고 제조사에서 말하고 있으나 R2가 최신모델임을 고려하면 국내 자동안굴절력계의 제조기술 발전이 다른 결과값을 보여주는 것으로 사료된다. 이 결과는 특정 기기가 구면도수, 원주도수, 각막굴절력이 모두 높게 측정된 것으로 보아 안경원 및 안과에서 타각적굴절검사 시 자각적 굴절검사 전에 자동안굴절력계 측정값은 참고용으로만 활용되어야 할 것으로 생각된다. 또한 난시 축, 각막난시 축 및 동공간거리 측정값은 같은 메커니즘의 원리를 사용하여 기기 간의 차이가 발생하지 않을 것으로 생각되

Table 4. Paired sample analysis of measurements from R1 and R2 auto kerato-refractometers

Variable	Mean	Standard deviation	Standard error of the mean	95% confidence interval for difference		t	df	p
				Minimum	Maximum			
Spherical - Spherical (D)	0.34	0.54	0.05	0.24	0.45	6.59	105	0.000*
Cylinder - Cylinder (D)	0.10	0.37	0.04	0.03	0.17	2.93	102	0.004*
Axis - Axis (°)	-1.01	73.72	7.26	-15.42	13.40	-0.14	102	0.890
Keratometer - Keratometer (D)	0.12	0.46	0.05	0.03	0.21	2.62	103	0.010*
Cornea axis - Cornea axis (°)	-4.00	62.37	6.12	-16.13	8.13	-0.65	103	0.515
Pupil distance - Pupil distance (mm)	-0.25	1.77	0.17	-0.59	0.10	-1.43	105	0.156

\*p<0.05

Table 5. Paired sample analysis of measurements from R1 and R3 auto kerato-refractometers

Variable	Mean	Standard deviation	Standard error of the mean	95% confidence interval for difference		t	df	p
				Minimum	Maximum			
Spherical - Spherical (D)	0.26	0.51	0.05	0.16	0.36	5.30	105	0.000*
Cylinder - Cylinder (D)	0.04	0.40	0.04	-0.04	0.11	0.94	101	0.350
Axis - Axis (°)	-29.94	78.29	7.75	-45.32	-14.56	-3.86	101	0.000*
Keratometer - Keratometer (D)	-0.03	0.44	0.04	-0.11	0.05	-0.72	105	0.471
Cornea axis - Cornea axis (°)	-19.73	69.34	6.74	-33.09	-6.38	-2.93	105	0.004*
Pupil distance - Pupil distance (mm)	-0.21	1.97	0.19	-0.59	0.17	-1.08	105	0.281

\*p<0.05

며 본 연구에서는 두 가지 모델로 한정하여 실험하였으므로 동일한 회사의 전체 모델을 사용하여 측정하는 경우 본 실험 결과와 다를 수 있다는 한계점을 가진다.

2.2. 다른 회사의 기기별 측정 결과

다른 회사인 R1과 R3의 측정값을 비교한 결과 R3의 구면도수가 모두 더 높게 측정되었으며(p<0.05), 두 기기 간의 전체 난시 축과 각막난시 축의 차이가 발생하였다(p<0.05). 또한 전체난시와 각막난시량, 및 동공간거리 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다(Table 5). 이러한 결과는 R1과 R3는 측정원리가 다른 기기로 작

동 메커니즘이 달라 발생한 것으로 생각된다. 또한 피검사자의 전체 난시 축과 각막난시 축이 기기별로 다르게 측정된 결과는 타각적굴절검사 시 난시 축에 대한 신뢰도가 낮은 것으로 사료되어 자각적굴절검사에서 다양한 난시검사를 통해 정확한 축을 결정해야 하는 것을 나타낸다.

다른 회사인 R1과 R4의 측정값을 비교한 결과 R4의 구면도수, 원주도수 및 각막굴절력 모두 더 높게 측정되었으며(p<0.05), 난시 축, 각막난시 축 및 동공간거리 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다(Table 6). 두 기기 간의 구면도수, 원주도수 및 각막굴절력 차이가 발생한 것으로 보아 측정원리가 다른 자동각막안굴절력계의

Table 6. Paired sample analysis of measurements from R1 and R4 auto kerato-refractometers

Variable	Mean	Standard deviation	Standard error of the mean	95% confidence interval for difference		t	df	p
				Minimum	Maximum			
Spherical - Spherical (D)	0.33	0.53	0.05	0.23	0.43	6.41	105	0.000*
Cylinder - Cylinder (D)	0.09	0.34	0.03	0.02	0.16	2.69	102	0.008*
Axis - Axis (°)	-6.05	70.19	6.92	-19.776	7.66	-0.88	102	0.383
Keratometer - Keratometer (D)	0.11	0.47	0.05	0.02	0.20	2.51	104	0.014*
Cornea axis - Cornea axis (°)	1.72	63.96	6.24	-10.66	14.10	0.28	104	0.783
Pupil distance - Pupil distance (mm)	0.04	1.54	0.15	-0.25	0.33	0.25	105	0.801

\*p<0.05

경우 외부 환경이 줄 수 있는 변수를 최대한 통제하였음에도 조절마비하 검사가 아닌 경우 검사값이 다를 수 있다는 선행연구와 일치된다.<sup>[13]</sup>

또한 R2와 R3의 측정값을 비교한 결과 R2의 구면도수 및 각막굴절력이 R3보다 더 높게 측정되었으며( $p<0.05$ ), 전체 난시 축, 각막난시 축은 통계적으로 유의한 차이가 발생하였다. 또한 전체 난시, 동공간거리 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다(Table 7). R2는 국산이며 R3는 외산제품으로 다른 비교 대상인 국산 R1 제품과 외산 R3 제품 측정값과 상이한 결과를 보여 국산과 외산제품과의 차이로 인한 결과로 보기는 어려운 것으로 생각된다. 두 기기의 측정값이 다른 원인으로는 웨이브프론트 측정방식인 R2가 다른 검사법에 비해 약간의 근시성 경향을 보인다는 선행연구와 일치한다.<sup>[13]</sup>

R2와 R4의 측정값을 비교한 결과 구면도수, 전체 난시, 축, 각막굴절력, 각막난시 축, 동공거리 모두 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다( $p<0.05$ )(Table 8). 각각 다른 원리의 측정기기인 R2와 R4를 비교한 결과 웨이브프론트 측정 방식이 약간 근시성으로 측정된다는 연구 결과와 일치하지 않았다. 이는 두 기기 모두 조절개입을 방지하는 운무부가 장입되어 있음에도 조절마비제를 점안하지 않고 실시한 자동안굴절력검사에서 조절이 개입되어 영향을 받은 것으로 사료된다.<sup>[14]</sup> 또한 이는 안경원 및 안과에

서 최신 모델의 자동안굴절력계로 검사 시 조절로 인한 굴절검사값의 오차가 발생할 수 있음을 보여주며 장시간 사용한 기기의 경우 오차의 가능성을 시사한다.

R3와 R4의 측정값을 비교한 결과 전체 축, 각막굴절력, 각막난시 축이 통계적으로 유의한 차이가 발생하였으며( $p<0.05$ ), 구면굴절력, 전체난시, 동공간거리는 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다(Table 9). 같은 측정 원리 방식의 R3와 R4의 경우 다른 회사 제품으로 동일한 원리로 측정되므로 같은 결과를 보여야 하나 임상에서는 일부 항목에서 차이가 발생하였다. 이러한 결과는 회사 제조상 차이, 조립 방식의 상이 함 등에서 발생한 것으로 사료된다. 자동안굴절력검사 시 피검사자의 조절개입 최소화 및 정확하고 세밀한 자각적굴절검사가 요구되는 이유이다.

3. 기기별 측정치 분석

1) 구면굴절력 상관관계 분석

기기 R1, R2, R3, R4의 구면굴절력 간의 상관관계를 알아보기 위해 분석한 결과 R2과 R3는 0.989, R2와 R4는 0.989, R3와 R4는 0.988, R1과 R3는 0.984, R1과 R4는 0.982 순으로 모든 기기 간에 높은 양의 상관관계를 보였다(Table 10). 구면굴절력 측정 값은 네 개의 기기 모두 유사한 값을 나타내어 자동안굴절력계의 안정성을 나타낸 것으로 분석된다.

Table 7. Paired sample analysis of measurements from R2 and R3 auto kerato-refractometers

Variable	Mean	Standard deviation	Standard error of the mean	95% confidence interval for difference		t	df	p
				Minimum	Maximum			
Spherical - Spherical (D)	-0.08	0.42	0.04	-0.16	0.00	-2.05	105	0.043*
Cylinder - Cylinder (D)	-0.07	0.44	0.04	-0.15	0.02	-1.54	104	0.126
Axis - Axis (°)	-26.99	86.04	8.40	-43.64	-10.34	-3.22	104	0.002*
Keratometer - Keratometer (D)	-0.15	0.30	0.03	-0.20	-0.09	-4.94	103	0.000*
Cornea axis - Cornea axis (°)	-16.15	65.89	6.47	-28.97	-3.34	-2.50	103	0.014*
Pupil distance - Pupil distance (mm)	0.04	2.42	0.24	-0.43	0.50	0.16	105	0.873

\* $p<0.05$

Table 8. Paired sample analysis of measurements from R2 and R4 auto kerato-refractometers

Variable	Mean	Standard deviation	Standard error of the mean	95% confidence interval for difference		t	df	p
				Minimum	Maximum			
Spherical - Spherical (D)	-0.01	0.44	0.04	-0.10	0.07	-0.34	105	0.738
Cylinder - Cylinder (D)	-0.02	0.38	0.04	-0.09	0.06	-0.45	105	0.653
Axis - Axis (°)	-3.70	73.95	7.18	-17.93	10.55	-0.51	105	0.609
Keratometer - Keratometer (D)	0.02	0.27	0.03	-0.05	0.05	0.09	102	0.926
Cornea axis - Cornea axis (°)	4.06	69.73	6.87	-9.570	17.687	0.59	102	0.556
Pupil distance - Pupil distance (mm)	0.28	1.74	0.17	-0.05	0.62	1.68	105	0.097

Table 9. Paired sample analysis of measurements from R3 and R4 auto kerato-refractometers

Variable	Mean	Standard deviation	Standard error of the mean	95% confidence interval for difference		t	df	p
				Minimum	Maximum			
Spherical - Spherical (D)	0.07	0.44	0.04	-0.02	0.15	1.60	105	0.114
Cylinder - Cylinder (D)	0.05	0.34	0.03	-0.02	0.12	1.52	104	0.131
Axis - Axis (°)	23.34	72.76	7.10	9.27	37.42	3.29	104	0.001*
Keratometer - Keratometer (D)	0.15	0.28	0.03	0.09	0.20	5.38	104	0.000*
Cornea axis - Cornea axis (°)	19.93	80.28	7.83	4.40	35.47	2.54	104	0.012*
Pupil distance - Pupil distance (mm)	0.25	1.89	0.18	-0.12	0.61	1.33	105	0.182

\*p<0.05

Table 10. Correlation analysis of spherical refractive power

Spherical		R1	R2	R3	R4
R1	Pearson correlation coefficient	1	0.982**	0.984**	0.982**
	Probability of significance (two-tailed)		0.000	0.000	0.000
	N	106	106	106	106
R2	Pearson correlation coefficient	0.982**	1	0.989**	0.989**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000		0.000	0.000
	N	106	106	106	106
R3	Pearson correlation coefficient	0.984**	0.989**	1	0.988**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000		0.000
	N	106	106	106	106
R4	Pearson correlation coefficient	0.982**	0.989**	0.988**	1
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000	0.000	
	N	106	106	106	106

\*\*The correlation coefficient is significant at the 0.01 level (two-tailed)

2) 원주굴절력 상관분석

기기 R1, R2, R3, R4의 원주굴절력 간의 상관관계를 알아보기 위해 분석한 결과 R1과 R4는 0.938, R3와 R4는

0.933, R1과 R2는 0.930, R1과 R3는 0.914, R2와 R3는 0.892 순으로 모든 기기 간에 높은 양의 상관관계를 보였다(Table 11). 원주굴절력 측정 값은 네 개의 기기 모두 유

Table 11. Correlation analysis of cylindrical refractive power

Cylinder		R1	R2	R3	R4
R1	Pearson correlation coefficient	1	0.930**	0.914**	0.938**
	Probability of significance (two-tailed)		0.000	0.000	0.000
	N	103	103	102	103
R2	Pearson correlation coefficient	0.930**	1	0.892**	0.922**
	Probability of significance (two-tailed)	.000		0.000	0.000
	N	103	106	105	106
R3	Pearson correlation coefficient	0.914**	0.892**	1	0.933**
	Probability of significance (two-tailed)	.000	0.000		0.000
	N	102	105	105	105
R4	Pearson correlation coefficient	0.938**	0.922**	0.933**	1
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000	0.000	
	N	106	106	106	106

\*\*The correlation coefficient is significant at the 0.01 level (two-tailed)

사한 값을 나타내어 자동안굴절력계 측정치의 안정성을 보여주는 것으로 분석된다.

3) 각막굴절력 상관분석

기기 R1, R2, R3, R4의 각막굴절력 간의 상관관계를 알아보기 위해 분석한 결과 R2과 R4는 0.946, R3와 R4는 0.935, R2과 R3는 0.933, R1과 R3는 0.850, R1와 R2는 0.844 순으로 모든 기기 간에 높은 양의 상관관계를 보였다(Table 12). 각막굴절력 측정 값은 네 개의 기기 모두 유사한 값을 나타내어 자동안굴절력계의 안정성을 나타낸 것으로 분석된다.

4) 난시 축 상관분석

기기 R1, R2, R3, R4의 난시 축 간 상관관계를 알아보

기 위해 분석한 결과 R1과 R4는 0.553, R1와 R2는 0.517, R3과 R4는 0.490, R1과 R3는 0.412 순으로 보통의 상관관계를 보였으며 R1와 R3는 0.304 로 낮은 양의 상관관계를 보였다(Table 13). 근시성 난시안에서 난시축 변화가 클수록 교정시력이 떨어지므로 정확한 난시 축은 안경처방 및 조제가공에서 중요한 요소이다.<sup>[15]</sup> 난시 축 값은 네 개의 기기 대부분에서 보통의 양의 상관관계를 나타냈으며 타각적굴절검사값에 의존하기보다 자각적굴절검사에서 표준화된 자각적 난시검사를 통해 정확한 난시 축을 결정하는 것이 중요하며 이를 위한 숙련도가 요구됨을 나타낸다.

5) 각막난시 축 상관분석

기기 R1, R2, R3, R4의 각막난시 축 간의 상관관계를

Table 12. Correlation analysis of corneal refractive power

Cornea		R1	R2	R3	R4
R1	Pearson correlation coefficient	1	0.844**	0.850**	0.830**
	Probability of significance (two-tailed)		0.000	0.000	0.000
	N	106	104	106	105
R2	Pearson correlation coefficient	0.844**	1	0.933**	0.946**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000		0.000	0.000
	N	104	104	104	103
R3	Pearson correlation coefficient	0.850**	0.933**	1	0.935**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000		0.000
	N	106	104	106	105
R4	Pearson correlation coefficient	0.830**	0.946**	0.935**	1
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000	0.000	
	N	105	103	105	105

\*\*The correlation coefficient is significant at the 0.01 level (two-tailed)

Table 13. Correlation analysis of astigmatism axis

Astigmatism axis		R1	R2	R3	R4
R1	Pearson correlation coefficient	1	0.517**	0.412**	0.553**
	Probability of significance (two-tailed)		0.000	0.000	0.000
	N	103	103	102	103
R2	Pearson correlation coefficient	0.517**	1	0.304**	0.516**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000		0.002	0.000
	N	103	106	105	106
R3	Pearson correlation coefficient	0.412**	0.304**	1	0.490**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	.002		0.000
	N	102	105	105	105
R4	Pearson correlation coefficient	0.553**	0.516**	0.490**	1
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000	0.000	
	N	103	106	105	106

\*\*The correlation coefficient is significant at the 0.01 level (two-tailed)

Table 14. Correlation analysis of corneal astigmatism axis

cornea axis		R1	R2	R3	R4
R1	Pearson correlation coefficient	1	0.699**	0.610**	0.686**
	Probability of significance (two-tailed)		0.000	0.000	0.000
	N	106	104	106	105
R2	Pearson correlation coefficient	0.699**	1	0.642**	0.621**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000		0.000	0.000
	N	104	104	104	103
R3	Pearson correlation coefficient	0.610**	0.642**	1	0.475**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000		0.000
	N	106	104	106	105
R4	Pearson correlation coefficient	0.686**	0.621**	0.475**	1
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000	0.000	
	N	105	103	105	105

\*\*The correlation coefficient is significant at the 0.01 level (two-tailed)

Table 15. Correlation analysis of interpupillary distance

Cornea axis		R1	R2	R3	R4
R1	Pearson correlation coefficient	1	0.900**	0.861**	0.921**
	Probability of significance (two-tailed)		0.000	0.000	0.000
	N	106	106	106	106
R2	Pearson correlation coefficient	0.900**	1	0.811**	0.906**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000		0.000	0.000
	N	106	106	106	106
R3	Pearson correlation coefficient	0.861**	0.811**	1	0.881**
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000		0.000
	N	106	106	106	106
R4	Pearson correlation coefficient	0.921**	0.906**	0.881**	1
	Probability of significance (two-tailed)	0.000	0.000	0.000	
	N	106	106	106	106

\*\*The correlation coefficient is significant at the 0.01 level (two-tailed)

알아보기 위해 분석한 결과 R1과 R2는 0.699, R1과 R4는 0.686, R2와 R3는 0.642, R2와 R4는 0.621, R1과 R3는 0.610는 높은 상관관계를 보였으며, R3와 R4는 0.475로 보통의 양의 상관관계를 보였다(Table 13). 각막난시 축은 네 개의 기기별 높은 상관관계를 보였으나 구면굴절력과 원주굴절력에 비해 낮은 상관관계를 보여준다. 따라서 하드렌즈 피팅 시 각막난시량과 축을 고려해야 하므로 교정 시력에 영향을 줄 수 있어 자각적굴절검사값의 중요도가 높다고 생각된다.

#### 6) 동공간거리 상관분석

기기 R1, R2, R3, R4의 동공간거리 간의 상관관계를 알아보기 위해 분석한 결과 R1과 R4는 0.921, R2와 R4는

0.906, R2와 R1은 0.900, R1과 R3는 0.861, R2와 R3는 0.811 순으로 모든 기기 간에 높은 상관관계를 보였다 (Table 15). 동공간거리를 네 개의 기기로 측정된 결과 측정값이 같아 신뢰도가 높은 것으로 판단된다. 따라서 자동 각막안굴절력계로 측정된 동공간거리 검사값을 자각적굴절검사 시 활용하는 것은 바람직한 것으로 사료된다.

#### 결 론

자각적굴절검사기기에 따른 교정굴절력의 신뢰도에 관한 선행연구에서 고도 비정시안의 경우 시험렌즈보다 포토포터블을 통한 검사가 더 낮게 측정되었다.<sup>[16]</sup> 또한 타각적 굴절검사 및 자각적굴절검사와 관련된 선행연구에서 굴절

검사 값에 미치는 다양한 요인과 방법에서 음주, 스마트기기 사용 등 관련 연구가 진행되었다.<sup>[14,17,18]</sup> 또한 웨이브프론트 방식을 이용한 수차계를 이용하여 라섹 수술 시 정확한 수술량을 결정할 수 있으나 가장 중요한 것은 현성 굴절검사로 조사되었다.<sup>[13]</sup>

다양한 굴절 검사의 정확도 비교 또한 자동각막안굴절력계로 검사한 결과 기기별 구면도수, 원주도수, 각막굴절력, 난시 축, 각막난시 축 측정값이 일부의 경우 측정 원리의 차이로 인해 발생하였으며 같은 측정 원리라 하더라도 회사에 따라 측정되었다. 본 연구에서 사용된 특정기기의 측정치가 낮게 나타났음에도 불구하고 측정된 기기 간의 구면도수, 원주도수, 각막굴절력 간의 상관성은 높았다. 상대적으로 난시 축, 각막난시 축의 경우 기기 간 상관성이 높지않다는 점은 잘못 처방하는 경우 어지러움, 상의 왜곡, 수차를 유발할 수 있는 난시안의 경우 타각적굴절검사값을 신뢰하기 어려운 점을 시사한다. RGP렌즈 피팅 시 각막난시와 축은 중심안정을 결정하는데 있어 중요한 요소이므로 각막곡률계로 나타나는 측정치의 신뢰도 또한 중요하다.<sup>[19]</sup> 이러한 일관성 없는 결과는 자동안굴절력계 사용 시 검사자의 자각적 굴절검사에서의 정확도가 더욱 요구되는 것으로 사료된다. 국내 기기 중 최근 개발된 제품의 경우 수입기기와 비교하였을 때 굴절이상 측정의 정확도가 높은 것으로 판단되므로 기기 구입에 있어 국내 중고기기는 기계적 오차가 발생할 수도 있을 것으로 생각된다. 또한 동공간거리 측정값의 경우 모든 기기의 측정값이 일치된 것으로 보아 기기에 따른 오차가 거의 없는 것으로 판단되므로 자각적굴절검사를 위한 추가적인 동공간거리측정기 사용은 요구되지 않는다. 안경원 및 안과에서 타각적굴절검사 시 가장 많이 사용되는 기기인 자동각막안굴절력계는 검사자의 숙련도에 상관없이 측정이 가능하나 조절 개입 시 오차가 발생할 수 있는 여지가 높다. 따라서 자동각막안굴절력계를 사용한 타각적굴절검사는 자각적굴절검사 전에 대략적인 굴절이상값으로 활용할 것을 권장하며 안경사의 자각적굴절검사방법의 신뢰도를 높이고자 정확한 검사방법 사용 및 지속적인 교육이 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2024년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

## REFERENCES

[1] Kim JH, Shin JA, Lim HS. Refraction, 3rd Ed. Seoul:

Hanmibook, 2022;135-136.

[2] Kim DH, Kim SM, Kim JM, et al. Ocular physiology, 1st Ed. Seoul: Hunmoonsa, 2000;155-160.

[3] Kim JH, Shin JA, Lim HS. Refraction, 3rd Ed. Seoul: Hanmibook, 2022;137-138.

[4] Yu DS. A study on symmetrical and asymmetrical astigmatism. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2002;7(2):47-54.

[5] Lee EH, Lee HJ, Cho SI, et al. Research about the distribution of refractive errors in distinction of gender and at age of Kyonggi province's part area. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2006;11(2):121-129.

[6] Kim H, Lee KJ, Kim SI, et al. Comparison of autorefraction and refraction with iTrace for elementary school children. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2010;15(1):99-104.

[7] Kinge B, Midelfart A, Jacobsen G. Clinical evaluation of the Allergan Humphrey 500 autorefractor and the Nidek AR-1000 autorefractor. Br J Ophthalmol. 1996;80(1):35-39. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjo.80.1.35>

[8] Park KH. A study on qualitative assessment of visual acuity and measuring straylight on wearing soft contact lens. PhD Thesis. Dongshin University, Naju. 2017;34-38.

[9] Allen PM, Radhakrishnan H, O'Leary DJ. Repeatability and validity of the Powerrefractor and the Nidek AR600-A in an adult population with healthy eyes. Optom Vis Sci. 2003;80(3):245-251. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-200303000-00014>

[10] Han DK. Analyzing performance of autorefractors with different measurement principle. MS Thesis. Eulji University, Daejeon. 2017;30-35.

[11] Kim EW, Kim YW, Lee JY. Side effects after the use of cyclopentolate for cycloplegic refraction. J Korean Ophthalmol Soc. 2014;55(10):1520-1524. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2014.55.10.1520>

[12] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. Ophthalmology. 2016;123(5):1036-1042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>

[13] Ahn JM, Ahn HS, Seo KY, et al. Comparison of the refractive error measurement using different methods in wavefront-guided LASEK. J Korean Ophthalmol Soc. 2010;51(9):1196-1202. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2010.51.9.1196>

[14] Jung SA, Nam SK, Kim HJ. Changes in visual acuity and values of objective refraction with breath alcohol concentration. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2015;20(2):187-193. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2015.20.2.187>

[15] Choi JK, Kim BH, Lee EH. Effect of visual acuity for change of astigmatism axis in myopic astigmatism. J Digit Converg. 2015;13(12):285-290. DOI: <http://dx.doi.org/10.14400/JDC.2015.13.12.285>

[16] Lee HJ, Kim JH, Ryu KH. A study on the reliability of corrected diopter according to subjective refraction instrument. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2010;15(3):281-286.

[17] Choi YH, Choi YY. The difference comparison according to child refractive method and effect of life style on myo-

- pia. J Korean Ophthalmol Soc. 2005;46(11):1841-1847.
- [18] Park SJ, Wee WR, Lee JH, et al. Comparison of wavescan aberrometer refraction to subjective manifest refraction and autorefractor. J Korean Ophthalmol Soc. 2009;50(5):684-690. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2009.50.5.684>
- [19] Kim SR, Park SI, Lee SE, et al. A comparison of lens concentrations on cornea with RGP lens fitting by the measured values using keratometer and corneal topography. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2011;16(1):41-50.

## 자동각막안굴절력계를 통한 측정값 비교 및 상관관계에 관한 연구

박경희\*

신한대학교 안경광학과, 교수, 경기 11644

투고일(2024년 12월 3일), 수정일(2024년 12월 17일), 게재확정일(2024년 12월 24일)

**목적:** 안경원 및 안과에서 타각적 굴절검사 시 사용하는 다양한 자동안굴절력계를 사용하여 구면 굴절력, 원주 굴절력, 축, 각막굴절력, 각막난시, 동공간거리를 각각 비교함으로써 기기별 상관관계를 알아보고 검사값에 대한 신뢰도를 분석하고자 한다. **방법:** 안질환이 없는 건강한 성인남녀 55명, 평균 31±10세를 대상으로 총 네 가지의 자동안굴절력계를 사용하여 3번 측정 후 평균값을 사용하였다. 통계처리는 SPSS 20.00의 기술통계와 반복설계 분산분석, 대응표본 T 검정 및 Pearson 상관분석을 실시하였으며 통계적 유의성은 신뢰수준 95%( $p<0.05$ )로 판단하였다. **결과:** 동일한 회사의 값은 측정방식의 R1과 R2의 측정값을 비교한 결과 R2의 구면도수, 원주도수 및 각막굴절력 모두 더 높게, 다른 회사인 R1과 R3의 측정값을 비교한 결과 R3의 구면도수가 모두 더 높게 측정되었으며, 두 기기 간의 전체 난시 축과 각막 난시 축의 차이가 발생하였다( $p<0.05$ ). R1과 R4의 측정값을 비교한 결과 R4의 구면도수, 원주도수 및 각막굴절력 모두 더 높게, R2와 R3의 측정값을 비교한 결과 R2의 구면도수 및 각막굴절력이 R3보다 더 높게, R2와 R4의 측정값을 비교한 결과 구면도수, 전체 난시, 축, 각막굴절력, 각막난시 축, 동공간거리 모두 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다( $p<0.05$ ). R3와 4의 측정값을 비교한 결과 전체 축, 각막굴절력, 각막난시 축이 통계적으로 유의한 차이가 발생하였다( $p<0.05$ ). 네 가지 기기로 측정한 구면굴절력, 각막굴절력, 동공간거리는 높은 양의 상관관계를 보였다. **결론:** 자동각막안굴절력계를 사용하여 측정된 구면, 원주, 각막굴절력은 기기별로 다를 수 있으며 타각적굴절검사는 자각적굴절검사 전에 대략적인 굴절이상값으로 활용할 것을 권장하며 안경시는 자각적굴절검사방법의 신뢰도를 높이고자 정확한 검사방법 사용 및 지속적인 교육이 이루어져야 할 것이다.

**주제어:** 타각적굴절검사, 자동안굴절력검사, 자각적굴절검사, 굴절력측정, 웨이브프론트측정