

## 정상인에서 이중 사임플러그 전안부사진기를 이용한 각막 전후면 지도 측정의 재현성

이영은 · 전루민

이화여자대학교 의학전문대학원 의학과 안과학교실

**목적:** 이중 사임플러그 전안부사진기(GALILEI™)를 이용하여 측정한 각막 전후면 지도 계측치들의 재현성을 알아보고자 한다.  
**대상과 방법:** 28명 44안에서 GALILEI로 측정한 각막 전후면 지도 계측치에 대해 한 검사자가 2회 측정하여 검사자내 재현성을, 다른 검사자가 추가로 1회 측정하여 검사자간 재현성을 평가하였다.  
**결과:** 측정한 계측치에 대해 재현성을 평가하였을 때 검사자내 및 검사자간 재현성이 평균모의각막곡률, 최소모의각막곡률, 최대모의각막곡률, 각막후면의 평균각막곡률, 최소각막곡률, 최대각막곡률, 중심각막두께, 총각막부피, 평균동공직경에서 높았고 수평각막윤부직경, 수직각막윤부직경에서는 낮았다.  
**결론:** GALILEI의 재현성은 각막 전, 후면의 계측치와 중심각막두께, 총각막부피, 평균동공직경에서는 검사자내 및 검사자간 재현성이 높았으나 각막윤부직경에서는 재현성이 낮아 결과 해석시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.  
(대한안과학회지 2009;50(11):1611-1616)

각막지형도(Corneal topography)는 원추각막, 부정형 난시, 각막뒤틀림 등의 진단에 이용되어 왔으며 굴절교정수술 전후의 평가 및 각막교정술(orthokeratology)의 경과 관찰에 필수적인 장비이다.<sup>1</sup> 최근 다양한 굴절교정수술이 활발히 이루어지는 가운데 각막 지형도검사가 굴절교정수술 시 각막만곡도에 대한 정보를 제공할 뿐 아니라 각막 두께 측정 및 굴절 수술 후 인공수정체 도수 계산에도 이용되고 있어 기존의 각막곡률계나 각막두께측정기의 기능을 대체함으로써 그 효용성이 높아지고 있다.<sup>2</sup>

GALILEITM (Ziemer Group; Port, Switzerland)는 placido-disc 이용법과 세극등의 원리를 이용한 elevation-based system 방법을 결합하여 최근에 도입된 각막지형도 장비로 2개의 Scheimpflug 카메라로 각막의 여러 계측치를 측정하며 placido disc와 Scheimpflug imaging을 병합한 정보를 제공한다. 점에서 현재 많이 이용되고 있는 Scheimpflug analyzer인 Pentacam (OCULUS, Wetzlar, Germany)과 차이가 있다. 기존의 Orbscan (Orbtek Inc., Salt Lake City, Utah, USA)이나 Pentacam의 경우 각막 계측치의 재현성이 비교적 높다

는 결과의 연구가 있었으나<sup>3-6</sup> GALILEI로 측정한 계측치의 재현성에 관해서는 아직 보고된 바가 없다. 각막지형도 장비는 앞서 언급한 Orbscan이나 Pentacam을 포함하여 그 종류가 다양하며 기능면에서 중복되는 부분이 많아 장비 선택시 결정에 어려운 점이 있다. 새로 도입된 장비에 대해서는 이에 대한 재현성을 알아보는 연구가 선행되어 장비의 질적 수준을 설정해야 하는 과정이 이루어져야 하며 이에 따라 다양한 장비 중에서 실제 임상에서 필요한 것을 선택하는데 뿐만 아니라 환자에게 시행시 필요한 검사 횟수 등을 결정하는 데에도 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 연구에서는 GALILEI로 측정한 여러 각막 계측치의 검사자내 및 검사자간 재현성에 대해 알아보고자 하였다.

### 대상과 방법

2007년 12월부터 2008년 1월까지 본원에서 연구를 위하여 자원한 자 중 정상인 28명 44안을 대상으로 하였다. 대상자군은 시력측정, 굴절검사, 세극등검사, 안저검사, 안압검사를 시행하였을 때 정상이었으며 +3.0에서 -8.0D 사이의 굴절이상인 정상인만을 포함시켰다. 또한 눈 수술, 각막 외상 및 각막 질환 등의 과거력이 있는 경우 대상에서 제외시켰다. 대상자들은 연구의 목적에 대해 설명을 들었으며 검사 전에 동의를 받고 연구를 진행하였다.

검사시 검사대의 높이가 적절한지 확인하고 대상자의 머리와 턱을 검사대에 안정된 자세로 고정된 후 검사 동안 환자로 하여금 주시점을 검사할 눈으로 보게 하였다. 컴퓨터 모니터

■ 접수 일: 2009년 2월 10일 ■ 심사통과일: 2009년 8월 4일

■ 책임저자: 전 루 민

서울시 양천구 목동 911-1  
이화여자대학교 의학전문대학원 목동병원 안과  
Tel: 02-2650-5154, Fax: 02-2654-4334  
E-mail: jrmoph@ewha.ac.kr

\* 본 논문의 요지는 2008년 대한안과학회 제99회 춘계학술대회에서 포스터로 발표되었음.

상에서 붉은 십자표시가 네 개의 흰 점 위에 놓이면서 붉은 색의 가로선이 각막상피에 닿을 때 스캐닝이 되도록 하였다. 각막중심과 동공중심이 중앙에 위치하여 내외측과 상하측이 각각 대칭되고 안검으로 가려진 부위가 없고 안구의 움직임으로 흐려지지 않는 지도를 얻도록 하였으며 반복적으로 스캔하여 최대한 이상적인 지도를 얻었다.

각막의 계측치 중 평균모의각막곡률(Simavg), 최소모의각막곡률(Simf), 최대모의각막곡률(Sims), 각막후면의 평균각막곡률(Kavg), 최소각막곡률(Kf), 최대각막곡률(Ks), 중심각막두께(central corneal thickness), 수평각막윤부직경(nasal-temporal limbus to limbus diameter), 수직각막윤부직경(superior-inferior limbus to limbus diameter), 총각막부피(total corneal volume), 평균동공직경(pupil average diameter)에 대해 검사자내(intra-examiner) 및 검사자간(inter-examiner) 재현성을 확인하였다. 한 검사자가 대상안을 2회 측정하여 검사자내 재현성을 평가하였으며, 한 명의 검사자가 대상안을 추가로 측정하여 검사자간 재현성을 평가하였다.

재현성의 평가는 SPSS (version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL)를 이용하여 신뢰도 지수인 Guttman split-half point를 이용하였으며 신뢰도 지수가 0.7 이상일 경우를 재현성이 있는 것으로 평가하였다.

## 결 과

대상군은 총 28명 44안이었고 남자가 8명, 여자가 20명이었다. 평균 연령은  $28.1 \pm 4.12$ 세였으며 평균 굴절이상은

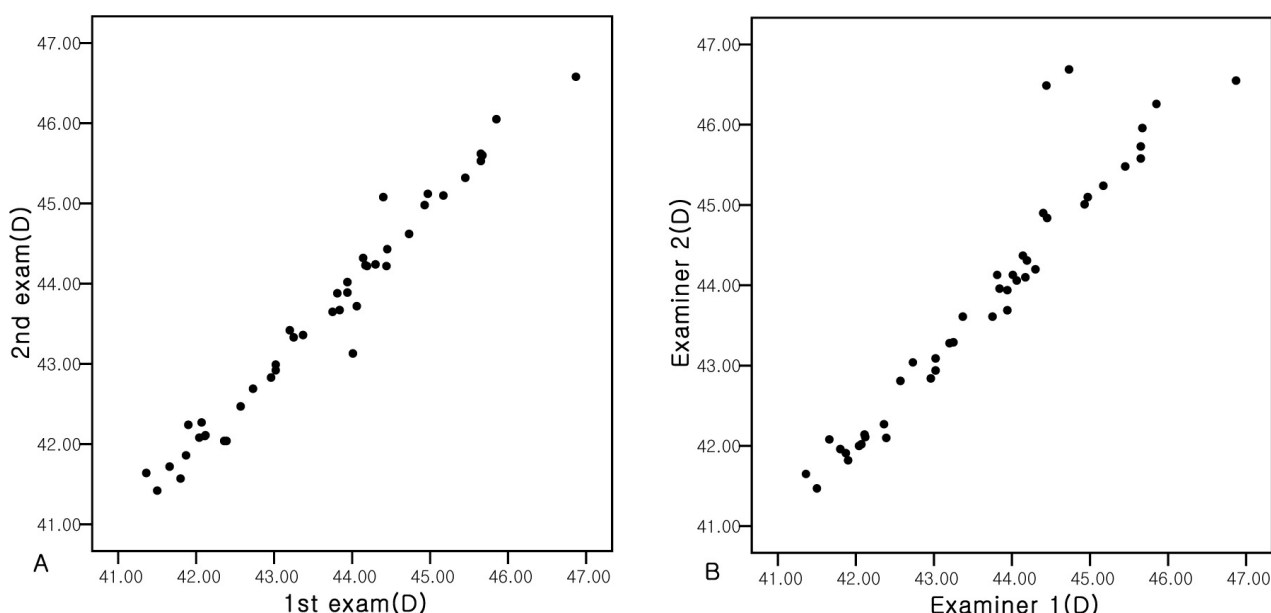
**Table 1.** Patient demographics

Number of eyes	44
Male : female	8:20
Mean age (years)	$28.1 \pm 4.12$ (22.0~38.0)
Refractive error (diopter)	$-1.84 \pm 1.65$ (-8.0~+3.0)

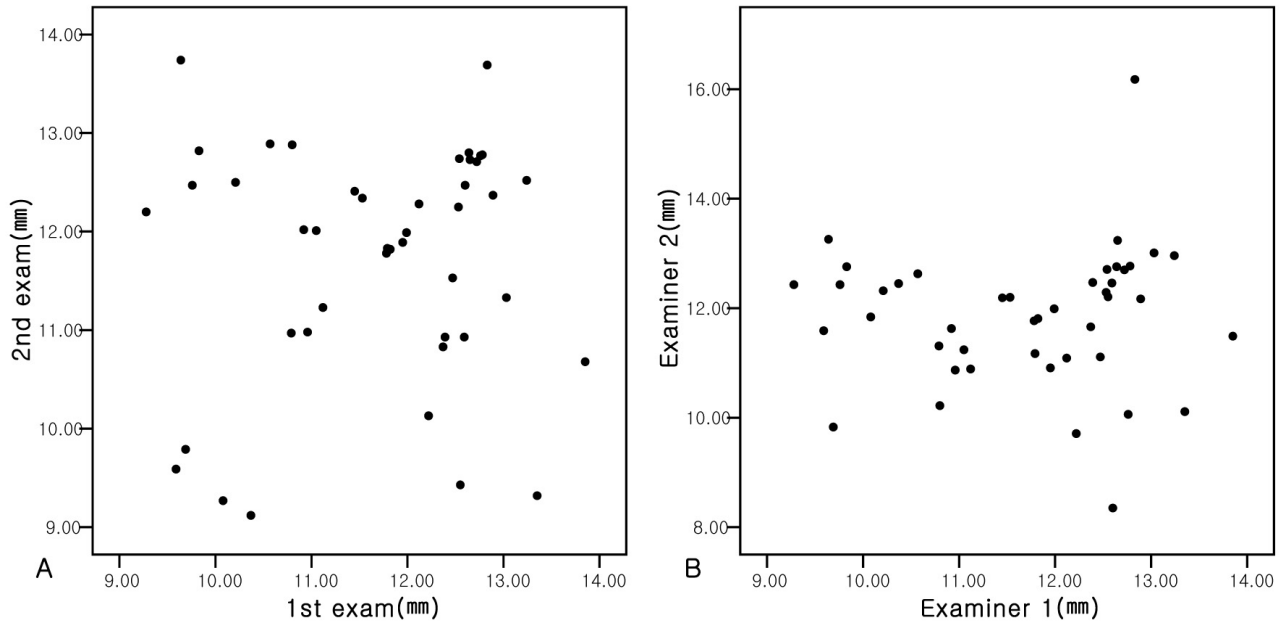
$-1.84 \pm 1.65$ D이었다(Table 1).

동일한 검사자가 28명 44안을 GALILEI로 2회 측정한 평균모의각막곡률의 평균은  $43.63 \pm 1.374$ D, 최소모의각막곡률의 평균은  $42.96 \pm 1.311$ D, 최대모의각막곡률의 평균은  $44.27 \pm 1.500$ D, 각막후면의 평균각막곡률의 평균은  $-6.410 \pm 0.283$ D, 각막후면의 최소각막곡률의 평균은  $-6.180 \pm 0.380$ D, 각막후면의 최대각막곡률의 평균은  $-6.640 \pm 0.266$ D, 평균중심각막두께의 평균은  $560.8 \pm 28.84$   $\mu$ m, 수평각막윤부직경의 평균은  $11.70 \pm 1.198$  mm, 수직각막윤부직경의 평균은  $11.66 \pm 1.189$  mm, 총각막부피의 평균은  $34.16 \pm 1.766$  mm<sup>3</sup>, 평균동공직경은  $2.801 \pm 0.566$  mm이었다. 측정된 계측치에 대해 Guttman split-half point를 구한 결과 검사자내 재현성은 평균모의각막곡률, 최소모의각막곡률, 최대모의각막곡률, 각막후면의 평균각막곡률, 최소각막곡률, 최대각막곡률, 중심각막두께, 총각막부피, 평균동공직경의 계측치에서 높았고(Guttman split-half point  $\geq 0.7$ ) 수평각막윤부직경, 수직각막윤부직경에서 낮았다(Guttman split-half point  $< 0.7$ )(Fig. 1, 2)(Table 2).

두 사람의 검사자가 측정한 평균모의각막곡률의 평균은  $43.79 \pm 1.508$ D, 최소모의각막곡률의 평균은  $43.03 \pm 1.355$ D, 최대모의각막곡률의 평균은  $44.55 \pm 1.780$ D, 각막후면의 평균



**Figure 1.** Scattergram showing intra- (A) and inter-examiner (B) repeatability of SimKavg.



**Figure 2.** Scattergram showing intra- (A) and inter-examiner (B) repeatability of limbus to limbus diameter (nasal - temporal).

각막곡률의 평균은  $-6.330 \pm 0.294D$ , 각막후면의 최소각막 곡률은  $-6.170 \pm 0.367D$ , 각막후면의 최대각막곡률은  $-6.630 \pm 0.302D$ , 평균중심각막두께의 평균은  $560.4 \pm 29.18 \mu m$ , 수평 각막윤부직경의 평균은  $11.59 \pm 1.156 mm$ , 수직각막윤부직경의 평균은  $11.58 \pm 1.215 mm$ , 총각막부피의 평균은  $33.37 \pm 2.591 mm^3$ , 평균동공직경은  $2.845 \pm 0.602 mm$ 이었다. 측정 한 계측치에 대해 Guttman split-half point를 구한 결과 검사 자간 재현성은 평균모의각막곡률, 최소모의각막곡률, 최대모 의각막곡률, 각막후면의 평균각막곡률, 최대각막곡률, 최소각막 곡률, 중심각막두께, 총각막부피, 평균동공직경의 계측치에 서는 높았으나(Guttman split-half point  $\geq 0.7$ ) 수평각막윤 부직경, 수직각막윤부직경에서는 낮았다(Guttman split-half

point  $< 0.7$ )(Fig. 1, 2)(Table 3).

## 고 찰

GALILEI는 최근 도입된 각막 지형도 장비로 Scheimpflug imaging과 기존의 placido-disc topography 방식의 측정 방법 을 결합하여 기존의 Scheimpflug imaging만을 사용한 Pen-tacam이나 slit beam을 이용한 elevation-based system인 Orbscan과 측정 방식에서 차이점을 보인다. Scheimpflug image 만으로 측정하는 것보다 각막 전면 곡률의 미세한 변화를 잘 반영하기 위하여 Scheimpflug image에 placido disc topography 방식을 결합하였고 두 개의 Scheimpflug camera를 이용하여

**Table 2.** Intra-examiner repeatability (Guttman split-half points are given for each parameters measured)

Parameters		Mean $\pm$ SD	Guttman half split points
SimK (D)	Sim <sub>avg</sub> <sup>*</sup>	43.63 $\pm$ 1.374	0.993
	Sim <sub>f</sub> <sup>†</sup>	42.96 $\pm$ 1.311	0.982
	Sim <sub>s</sub> <sup>‡</sup>	44.27 $\pm$ 1.500	0.991
	Sim <sub>s</sub> <sup>§</sup>	44.27 $\pm$ 1.500	0.991
Posterior corneal powers (D)	K <sub>avg</sub> <sup>§</sup>	-6.410 $\pm$ 0.283	0.969
	K <sub>f</sub> <sup>  </sup>	-6.180 $\pm$ 0.380	0.949
	K <sub>s</sub> <sup>#</sup>	-6.640 $\pm$ 0.266	0.863
	CCT <sup>**</sup>	560.8 $\pm$ 28.84	0.993
Central corneal thickness ( $\mu m$ )		560.8 $\pm$ 28.84	0.993
Limbus to limbus diameter (mm)	Nasal-temporal	11.70 $\pm$ 1.198	0.137
	Superior-inferior	11.66 $\pm$ 1.189	0.469
Total corneal volume (mm <sup>3</sup> )		34.16 $\pm$ 1.766	0.933
Pupil average diameter (mm)		2.801 $\pm$ 0.566	0.918

\* Sim<sub>avg</sub>=average SimK; † Sim<sub>f</sub>=flat SimK; ‡ Sim<sub>s</sub>=steep SimK; § K<sub>avg</sub>=posterior average corneal keratometry; || K<sub>f</sub>=posterior flat corneal keratometry; # K<sub>s</sub>=posterior steep corneal keratometry; \*\* CCT=central corneal thickness.

**Table 3.** Inter-examiner repeatability (Guttman split-half points are given for each parameters measured)

Parameters		Mean±SD	Guttman half split points
SimK (D)	Sim <sub>avg</sub> <sup>*</sup>	43.79±1.508	0.975
	Sim <sub>f</sub> <sup>†</sup>	43.03±1.355	0.990
	Sim <sub>s</sub> <sup>‡</sup>	44.55±1.780	0.935
Posterior corneal powers (D)	K <sub>avg</sub> <sup>§</sup>	-6.330±0.294	0.802
	K <sub>f</sub> <sup>  </sup>	-6.170±0.367	0.771
	K <sub>s</sub> <sup>#</sup>	-6.630±0.302	0.773
Central corneal thickness (μm)	CCT <sup>**</sup>	560.4±29.18	0.990
Limbus to limbus diameter (mm)	Nasal-temporal	11.59±1.156	0.077
	Superior-inferior	11.58±1.215	0.434
Total corneal volume (mm <sup>3</sup> )		33.37±2.591	0.809
Pupil average diameter (mm)		2.845±0.602	0.962

\* Sim<sub>avg</sub>=average SimK; † Sim<sub>f</sub>=flat SimK; ‡ Sim<sub>s</sub>=steep SimK; § K<sub>avg</sub>=posterior average corneal keratometry; || K<sub>f</sub>=posterior flat corneal keratometry; # K<sub>s</sub>=posterior steep corneal keratometry; \*\* CCT=central corneal thickness.

측정된 값을 평균화하여 중심이탈(decentration)이 되더라도 비교적 정확한 각막 두께 측정이 가능하다는 특징을 가지고 있다.

각막 지형도 장비는 각막 두께, 각막 전후면의 곡률을 측정하며 각막 굴절교정수술의 발전과 함께 수술 전 환자의 선별 검사와 수술 후 각막의 형태학적 변화를 추적하는데 유용하게 이용되고 있다. 각막 지형도 장비의 다양한 계측치를 토대로 한 정량적인 진단을 실제 임상에 이용하기 위해서는 재현성과 신뢰성에 관한 연구가 이루어져야 한다. 아직까지 GALILEI의 재현성에 관한 보고는 국내에 알려진 바가 없어 본 연구에서는 GALILEI를 이용하여 측정한 각막 전후면 지도 계측치의 재현성을 알아보았다. GALILEI를 이용하여 측정하였을 때 각막전면과 후면의 계측치 모두 검사자내 및 검사자간의 재현성이 높았고 윤부 직경은 수평, 수직 방향 모두 검사자내 및 검사자 간의 재현성이 낮았다. 재현성이 높았던 계측치 중에서 각막후면의 각막곡률과 총각막부피는 다른 계측치에 비하여 검사자간의 재현성이 낮은 것으로 보아 GALILEI로 측정시 재현성은 각막 전면의 각막곡률이 후면의 각막 곡률에 비해 더 우수한 것으로 나타났다.

윤부 직경 중 수평 윤부 직경은 우수정체 후방 안내렌즈 삽입술의 크기 산정에 중요한 기준이 되는 계측치로 GALILEI로 측정한 윤부 직경의 경우 검사자간의 재현성이 낮아 섬모체 고랑 거리를 유추하는데 GALILEI로 측정된 윤부 직경은 다른 측정치에 대한 부가적인 참고치로만 사용되어야 할 것으로 생각된다.

비슷한 원리를 이용하는 Pentacam에서 정상안을 대상으로 하여 재현성을 알아보았을 때 Shankar et al<sup>4</sup>은 각막 전면의 굴절력과 전방의 여러 계측치의 경우는 재현성이 높았으나 동공 크기와 동공을 중심으로 측정된 주변부 각막 두께의 재현성이 낮았다고 하였고, Chen and Lam<sup>5</sup>은 정상 각막 후면의 재현성을 intrasession과 1~2주 후에 측정된 intersession으로 나누

어서 보았을 때 모두 우수한 재현성을 보였다고 하였으나 재현성을 높이기 위해서는 3회 측정한 평균을 사용할 것을 권고하였다. 위 논문들과 직접적인 비교는 할 수 없으나 본 연구에서 GALILEI도 Pentacam과 비슷하게 우수한 재현성을 나타냈다. GALILEI를 이용한 연구로서 Menassa et al<sup>7</sup>은 GALILEI와 Orbscan으로 각막 두께와 각막전면의 곡률 측정시 재현성이 두 기기 모두에서 높았다고 하였고, 각막두께를 측정할 때 검사자내 재현성과 검사자간 재현성을 비교하여 Orbscan은 검사자와 대상자가 오차발생에 기여하는 정도가 거의 동일하나 GALILEI는 대상자에 의해 발생하는 정도가 커서 대상자의 협조가 중요함을 언급하였는데 본 연구에서는 각막두께의 검사자내 재현성이 검사자간 재현성보다 우수하여 이전 연구와는 상반된 결과를 보였다.

각막 후면의 각막곡률은 각막 굴절 수술 전 선별검사와 수술 후 생기는 의인성 각막확장증의 추적관찰에 민감한 계측치이며 각막 굴절 수술 후의 각막의 형태학적 변화를 통해 각막의 실질의 병태 생리를 이해하는 데 중요한 단서가 된다. 이는 각막 지형도 검사시 간접적으로 측정되는 수치이며 이의 정확도에 대해서는 기존의 slit-scanning system인 Orbscan과 rotating Scheimpflug image를 이용한 Pentacam에서도 차이가 있다. Orbscan II를 이용한 연구에서는 LASIK (Laser in situ keratomileusis)수술 후 각막 후면이 돌출되는 것으로 보고되었으나<sup>8-10</sup> 이후 도입된 Pen-tacam으로 측정시 이러한 전면 돌출이 드물고<sup>11</sup> 오히려 Orbscan II에서 나타나는 각막 후면의 전방 돌출은 수술 후 각막 측정시 각막의 확대율의 변화에 의해 생기는 측정 방법의 오류로 인해 발생한 것이라는 보고도 있었다.<sup>12</sup> Pentacam으로 측정된 각막 후면의 곡률 반경은 정상안과 굴절수술 시행안 모두에서 측정시 재현성이 높은 것으로 보고되어 왔으며 본 연구에서 GALILEI에서 측정된 후면 각막 곡률은 모두 중심 4 mm 이내의 계측치로 통계적으로 재현성이 우수한 것으로 나타났다. 다만 전면에 비해서는 후면

의 각막 곡률반경의 재현성이 비교적 낮으므로 추적 관찰하거나 비교할 때 이를 고려하여야 할 것이다.

추후 각막 후면의 곡률 반경을 포함하여 GALILEI의 계측치와 pentacam이나 Orbscan II로 측정된 계측치와의 비교를 통하여 이의 정확성에 대한 고찰이 이루어져야 할 것이며 본 연구에서 알아본 GALILEI의 재현성이 참고가 될 수 있을 것이다.

본 연구의 제한점은 여러 논문에서 각막 지형도검사시 3번 측정된 평균치로 비교하는 것이 재현성이나 정확성이 더 높은 것으로 보고된 바 있으나 본 연구에서는 검사 횟수가 2회로 재현성을 평가하기에 적은 횟수일 수 있다는 점이다. 그러나 여러번 측정하여 중심이탈이 의심스럽거나 측정치가 극단적인 이상치인 경우는 모두 제외하고 선택한 결과만을 분석에 포함시켜 검사 횟수로 인한 오차는 많지 않을 것으로 생각된다.

결론적으로 GALILEI는 각막 전, 후면의 계측치와 중심각막 두께, 총각막부피, 평균동공직경에서 높은 검사자내 및 검사자간 재현성을 보였으며 각막윤부직경에서는 검사자간 재현성이 비교적 낮아 결과 해석시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- 1) Swartz T, Marten L, Wang M. Measuring the cornea: the latest developments in corneal topography. *Curr Opin Ophthalmol* 2007; 18:325-33.
- 2) Jain R, Dilraj G, Grewal SP. Repeatability of corneal parameters with Pentacam after laser in situ keratomileusis. *Indian J Ophthalmol* 2007;55:341-7.
- 3) de Sanctis U, Missolungi A, Mutani B, et al. Reproducibility and repeatability of central corneal thickness measurements in keratoconus using the rotating Scheimpflug camera and ultrasound pachymetry. *Am J Ophthalmol* 2007;144:712-8.
- 4) 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.
- 5) Chen D, Lam AK. Intrasession and intersession repeatability of the Pentacam system on posterior corneal assessment in the normal human eye. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:448-54.
- 6) Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, Pesudovs K. Repeatability of corneal first-surface wavefront aberrations measured with Pentacam corneal topography. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:727-34.
- 7) 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.
- 8) Ciolino JB, Belin MW. Changes in the posterior cornea after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:1426-31.
- 9) Seitz B, Torres F, Langenbucher A, et al. Posterior corneal curvature changes after myopic laser in situ keratomileusis. *Ophthalmology* 2001;108:666-72.
- 10) Kamiya K, Oshika T. Corneal forward shift after excimer laser keratorefractive surgery. *Semin Ophthalmol* 2003;18:17-22.
- 11) Nishimura R, Negishi K, Saiki M, et al. No forward shifting of posterior corneal surface in eyes undergoing LASIK. *Ophthalmology* 2007;114:1104-10.
- 12) Ueda T, Nawa Y, Masuda K, et al. Posterior corneal surface changes after hyperopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2084-7.

**=ABSTRACT=**

## **The Intra and Inter-Examiner Repeatability of Corneal Parameters Obtained by GALILEI™ in Normal Subjects**

Young-Eun Lee, MD, Roo Min Jun, MD

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea

**Purpose:** To verify the intra-examiner and inter-examiner repeatability of corneal parameters obtained by GALILEI™.

**Methods:** Corneal parameters were measured by GALILEI in 44 eyes of 28 healthy subjects. One examiner took the measurements twice and intra-examiner repeatability was evaluated. Another examiner measured the corneal parameters once again and inter-examiner repeatability was evaluated.

**Results:** Intra-examiner and inter-examiner repeatability were high for corneal parameters including average SimK, flat SimK, steep SimK, average posterior corneal keratometry, flat posterior corneal keratometry, steep posterior corneal keratometry, central corneal thickness, total corneal volume, and average pupil diameter but low for limbus-to-limbus diameter (nasal-temporal and superior-inferior).

**Conclusions:** Anterior and posterior corneal parameters of GALILEI showed good intra-examiner and inter-examiner repeatability. However, limbus-to-limbus diameter showed poor intra-examiner and inter-examiner repeatability. GALILEI can be useful in clinical applications with special consideration when measuring the limbus-to-limbus diameter.

J Korean Ophthalmol Soc 2009;50(11):1611-1616

**Key Words:** Cornea, GALILEI, Repeatability, Topography

---

Address reprint requests to **Roo Min Jun, MD**

Department of Ophthalmology, School of Medicine Ewha Womans University, Mokdong Hospital

#911-1 Mok-dong, Yangcheon-gu, Seoul 158-710, Korea

Tel: 82-2-2650-5154, Fax: 82-2-2654-4334, E-mail: jrmoph@ewha.ac.kr