

두 샤임플러그 방식의 수차측정기기로 측정한 각막 고위수차 비교

Comparison of Corneal Higher-Order Aberrations Measured with Two Instruments Using Scheimpflug Camera System

최연정¹ · 강나희² · 전루민¹

Yeon Jung Choi, MD¹, Na Hee Kang, MD, PhD², Roo Min Jun, MD, PhD¹

이화여자대학교 의학전문대학원 안과학교실¹, BE 우리안과의원²

Department of Ophthalmology, Ewha Womans University School of Medicine¹, Seoul, Korea
BE Woorieyes Clinic², Chuncheon, Korea

Purpose: To compare the corneal higher-order aberrations (HOAs) of normal young subjects using Galilei™ G4 (Zeimer, Port, Switzerland) and Pentacam® (Oculus Inc., Wetzlar, Germany).

Methods: Corneal HOAs were measured using Galilei™ G4 and Pentacam® in 41 healthy individuals (41 eyes). Intraclass correlation coefficients (ICCs) were obtained to evaluate the repeatability of the 2 devices. Differences in HOAs between the 2 instruments were analyzed with a paired *t*-test and correlations evaluated.

Results: All ICCs measured using Galilei™ G4 and Pentacam® showed more than moderate repeatability (>0.81) except trefoil, tetrafoil, 4th and 5th HOAs. When comparing the measurements obtained with Galilei™ G4 and Pentacam®, total HOAs, spherical aberration (SA), secondary astigmatism and 5th total HOAs were statistically significantly different between the 2 device (all $p \leq 0.001$). In addition, Galilei™ G4 and Pentacam® showed discrepancy among all corneal HOAs items. Although the total corneal HOAs and the SA were significantly correlated, other HOA measurements generally exhibited a low correlation.

Conclusions: Corneal HOAs obtained by the 2 instruments cannot be used interchangeably due to their differences and discrepancy although corneal HOAs measured using Galilei™ G4 and Pentacam® showed relatively high repeatability.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(10):1497-1504

Key Words: Corneal higher-order aberrations, Galilei™ G4, Pentacam®

웨이브프론트(wavefront) 기술은 안과 영역에서 시력의 질과 관련하여 수차(aberration) 개념을 임상에 도입시켰다. 안구 수차는 각막수차와 수정체, 유리체 등을 포함하는 안구 내 수차로 구성되며,^{1,2} 20세기에 들어와 Zernike 공식을

통해 산술적으로 표현하는 것이 가능해졌다.³ 각막은 수차 현상을 일으키는 중요한 광학 구조로,¹ 각막의 고위수차 측정이 굴절교정수술이나 백내장 수술의 비구면 인공수정체 선택 등에서 임상적으로 유용하게 이용되면서 각막수차를 정량화하여 객관적인 수치로 제시해 주는 다양한 장비가 개발되었다. 그 중에서 Pentacam® (Oculus Inc., Wetzlar, Germany)과 Galilei™ (Zeimer, Port, Switzerland)는 각막지형도의 elevation map을 통해 각막 고위수차를 산출할 수 있는 기기이다.^{4,5} Pentacam®은 샤임플러그 카메라 방식의 세극등 원리를 이용한 기기로 한 대의 카메라가 360도 회전하면서 각막 전후면의 elevation map을 얻어 각막 형태를 분석하고 이를 통해 각막 전후면의 고위수차를 산출할 수

■ Received: 2015. 4. 17. ■ Revised: 2015. 6. 5.

■ Accepted: 2015. 8. 14.

■ Address reprint requests to Roo Min Jun, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Ewha Womans University
Mokdong Hospital, #1071 Anyangcheon-ro, Yangcheon-gu,
Seoul 07985, Korea
Tel: 82-2-2650-5154, Fax: 82-2-2650-4334
E-mail: jrmoph@ewha.ac.kr

* This study was presented as a narration at the 113th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2015.

있는 각막 지형도 검사기이다.⁴ Galilei™는 placido disc와 샤임플러그 카메라 방식이 결합된 각막 지형도 검사기기로, Pentacam®과 달리 두 대의 카메라가 회전하면서 전안부를 측정하기 때문에 중심으로부터의 이탈에 의한 오차를 줄일 수 있다고 알려져 있다.⁵ 또한 Galilei™ G4는 최근에 출시된 Galilei™ 기기로, 기존의 Galilei™ G2에 비해 보다 정밀한 전안부 영상을 얻을 수 있게 되었으며 그 속도 또한 향상되었다.

이전 연구들에서 상용화된 고위수차 측정 기기들은 그 원리가 다양할 뿐만 아니라 기기 간 계속치에 차이가 있다는 것이 보고된 바 있다.⁶⁻⁹ 그러므로 새로 개발된 고위수차 측정 기기를 임상에 적용하기 위해서는 기기의 정확성과 재현성을 알아보고, 기존 기기의 측정값과 비교해 보는 것이 필요하다. 아직까지 정상안을 대상으로 Galilei™ G4와 Pentacam®의 고위수차를 비교 분석한 연구는 국내외에서 보고된 바 없다. 이에 본 연구에서는 Galilei™ G4로 젊은 정상인의 각막 고위수차를 측정하여 그 재현성을 평가하고 비슷한 원리로 측정되는 Pentacam®과 비교해 보고자 한다.

대상과 방법

2014년 10월 1일부터 2014년 12월 31일까지 본원 안과 외래를 내원한 19세에서 35세의 성인 41명, 41안을 대상으로 하였다. 최대 교정시력이 1.0이고, 세극등 검사와 안저 검사상에서 이상이 없는 정상안만을 포함하였다. 각막수차 측정에 영향을 줄 수 있는 콘택트렌즈 착용자, 안과적 수술의 과거력이 있는 경우, -6.0 Diopter (D) 이상 고도근시는 연구에서 제외하였다. 본 연구는 본원 임상연구심의 위원회(Institutional Review Board) 승인하에 진행되었다(2014-11-016-002).

각막 고위수차는 Galilei™ G4와 Pentacam®을 이용하여 암실에서 측정하였다. 대상자의 이마와 턱을 검사대에 고정시키고 눈을 주시하게 한 뒤 한 명의 숙련된 검사자가 각 기계에 대해 각각 3회씩 반복 측정하였으며 총 검사 시간은 15분을 넘지 않았다. 눈물막의 영향을 최소화하기 위하여 검사를 시행하기 전 눈을 깜박이도록 하여 눈물층을 균일하게 하였다. 산동하지 않고 검사를 시행하였으며, 두 수차계 측정값의 분석은 모두 동공 중심부 4.0 mm 영역을 기준으로 하였고, 계산된 수차는 root mean square (RMS) 값으로 표현되었다. Galilei™ G4는 검사 결과를 보여주는 analysis report 창에서 recommended threshold value 값보다 큰 값인 경우만 분석에 포함하였으며, Pentacam® 역시 Quality specification 창에 “OK”가 나타나는 경우만 포함

Table 1. Demographics of subjects

	Data
No. of subjects (eyes)	41 (41)
Age (years)	27.76 ± 4.04 (19-35)
Male:female	14:27
SE (diopter)	-1.87 ± 2.33 (-6.0 ± 5.0)

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.
SE = spherical equivalent.

하였다.

각 기기의 검사자 내 반복성을 평가하기 위하여 급내상관계수(Intraclass correlation coefficient, ICC)를 이용하였으며, McGraw and Wong¹⁰이 제시한 기준에 따라 ICC가 0.75 미만일 때 나쁜 일치도, 0.75-0.90은 중등도 일치도, 0.90 이상일 때 높은 일치도를 보인다고 정의하였다.

두 수차계로 측정된 각막 고위수차를 paired *t*-test를 이용하여 비교하였다. 총 각막수차, 3차부터 5차항까지 각 차수별로 합계된 고위수차, 3차인 코마수차(Coma aberration, Z₃₁), 세조각수차(Trefoil aberration, Z₃₃), 4차인 구면수차(Spherical aberration, Z₄₀) 및 이차난시(Secondary astigmatism, Z₄₂) 그리고 네조각수차(Tetrafoil, Z₄₄) 값을 비교하였다. 두 기기 간 일치도를 평가하기 위해 Bland-Altman plot 분석을 사용하여 95% 유의 수준을 확인하였으며 Pearson's correlation 분석을 통하여 두 기기 간 상관관계를 보았다.

통계적 분석은 SPSS (version 21.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하였으며 *p*-value가 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 의미 있는 차이로 간주하였다.

결 과

총 41명, 41안이 본 연구에 포함되었으며, 남자는 14명, 여자는 27명이었다. 평균 연령은 27.76 ± 4.04세(19-35세), 현성굴절검사상 평균 구면렌즈 대응치는 -1.87 ± 2.33D였다(Table 1).

두 기기의 검사자 내 재현성을 평가한 결과, 총 각막 고위수차의 경우 Pentacam®의 ICC는 0.885로 중등도의 반복성을 보인 반면 Galilei™ G4는 0.970으로 우수한 반복성을 나타냈다. 코마수차는 두 기기에서 모두 0.9 이상의 높은 반복성을 보였으며, 구면수차는 Galilei™ G4의 ICC가 0.933, Pentacam®이 0.896의 반복성을 나타냈다. 두 기계는 공통적으로 3차 총 고위수차와 이차난시에서는 ICC 값이 0.80 이상으로 중등도의 반복성을 보였으며 세조각수차, 네조각수차, 4차항 및 5차항의 총 각막 고위수차는 0.75 미만의 낮은 ICC 값을 나타냈다(Table 2).

Table 2. Intra-examiner ICC of corneal HOAs using Galilei™ G4 and Pentacam®

	Pentacam®		Galilei™ G4	
	ICC	95% CI	ICC	95% CI
Total corneal HOAs (μm)	0.885	0.762-0.950	0.970	0.949-0.984
3° total HOA (μm)	0.877	0.751-0.945	0.816	0.684-0.898
Coma Z (3, 1) (μm)	0.924	0.845-0.967	0.951	0.916-0.973
Trefoil Z (3, 3) (μm)	0.532	0.039-0.795	0.433	0.018-0.688
4° total HOA (μm)	0.644	0.271-0.842	0.675	0.443-0.821
SA Z (4, 0) (μm)	0.896	0.784-0.955	0.933	0.886-0.963
2° astig Z (4, 2) (μm)	0.907	0.808-0.959	0.842	0.730-0.913
Tetrafoil Z (4, 4) (μm)	0.692	0.372-0.864	0.430	0.029-0.683
5° total HOA (μm)	0.761	0.521-0.892	0.612	0.331-0.787

ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval; HOA = higher-order aberration; SA = spherical aberration; 2° astig = secondary astigmatism.

Table 3. The comparison of corneal HOAs between the Galilei™ G4 and Pentacam®

	Pentacam®	Galilei™ G4	p-value*	Mean difference
Total corneal HOAs (μm)	0.490 ± 0.175	0.638 ± 0.200	<0.001	0.148 ± 0.366
3rd order HOA (μm)	0.114 ± 0.047	0.131 ± 0.052	0.141	0.016 ± 0.129
Coma Z (3, 1) (μm)	-0.022 ± 0.063	0.002 ± 0.068	0.141	-0.024 ± 0.190
Trefoil Z (3, 3) (μm)	-0.027 ± 0.063	-0.039 ± 0.036	0.272	-0.012 ± 0.128
4th order HOA (μm)	0.074 ± 0.026	0.083 ± 0.027	0.170	-0.009 ± 0.073
SA Z (4, 0) (μm)	0.032 ± 0.024	0.045 ± 0.016	0.001	-0.014 ± 0.048
2° astig Z (4, 2) (μm)	-0.004 ± 0.026	-0.003 ± 0.025	0.219	-0.007 ± 0.068
Tetrafoil Z (4, 4) (μm)	-0.029 ± 0.028	-0.004 ± 0.033	0.872	-0.001 ± 0.094
5th order HOA (μm)	0.025 ± 0.012	0.037 ± 0.018	<0.001	-0.013 ± 0.037

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated.

HOA = higher-order aberration; SA = spherical aberration; 2° astig = secondary astigmatism.

*p-value based on t-test.

두 기기로 측정된 각막 고위수차의 RMS (Mean ± SD) 값을 비교한 결과, 총 각막 고위수차 값은 Pentacam®에서 $0.490 \pm 0.175 \mu\text{m}$, Galilei™ G4에서 $0.638 \pm 0.200 \mu\text{m}$ 로 Galilei™ G4의 계측치가 통계적으로 유의하게 더 높은 값을 보였다($p < 0.001$) (Table 3). 또한 구면수차($p = 0.001$) 및 5차 총 각막 고위수차값($p < 0.001$)에서도 Galilei™ G4가 Pentacam®보다 더 큰 측정값을 보였으며, 두 기기 간에 유의한 수치의 차이를 나타냈다.

기기 간 계측치의 일치도를 보기 위해 시행한 Bland-Altman plot을 시행한 결과, 모든 고위수차 항목에서 두 기기 간에 낮은 일치도를 보였으며, 구면수차와 이차난시 측정치는 값이 작을수록 Galilei™ G4의 계측치가 Pentacam®보다 크게 측정되는 경향을 보였다(Fig. 1).

Galilei™ G4와 Pentacam®의 각막 고위수차값의 상관관계 분석한 결과, 총 RMS와 구면수차는 두 기기 계측치 간에 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었으나(RMS: $r = 0.506$, $p < 0.001$; 구면수차: $r = 0.328$, $p = 0.048$), 다른 각막 고위수차 항목에서는 측정값 사이에 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다(Fig. 2).

고 찰

눈은 일종의 광학 시스템으로 이상적인 눈에서는 들어오는 빛이 망막의 한 점에 수렴하게 된다. 하지만 실제 눈은 광학 시스템의 불안정성을 유발하는 여러 요인들에 의해 빛이 한 점에 모이지 못하는데 이로 인해 발생하는 빛 번짐이나 상이 일그러져 보이는 현상을 수차(aberration)의 개념으로 설명하였다.¹ 일반적으로 수차는 Zernike 공식으로 표현되며 근시, 원시, 난시와 같은 교정 가능한 저위수차와 일반 안경이나 수술로 완전한 교정이 어려운 고위수차로 나뉘어 진다.¹ 특히 빛 번짐, 대비감도 및 선명도 저하 등의 증상이 고위수차와 연관성을 가지며, 시력의 질적 저하를 일으키는 원인이 된다고 알려져 있다.¹¹ 각막은 고위수차를 야기하는 주요한 광학 구조이므로 각막의 고위수차를 정확하고 객관적인 방법으로 측정하기 위한 다양한 수차계가 개발되어 왔다.¹² 현재 상용화되고 있는 고위수차 산출이 가능한 각막 지형도 기기로는 iTrace (Tracey technology Inc., Houston, TX, USA), Pentacam®, Galilei™, OPD-scan III (NIDEK Inc., Fremont, CA, USA) 등이 있다.¹³ 여러 장비들이 임상연구 및 실제 임상에서 고위수차를 측

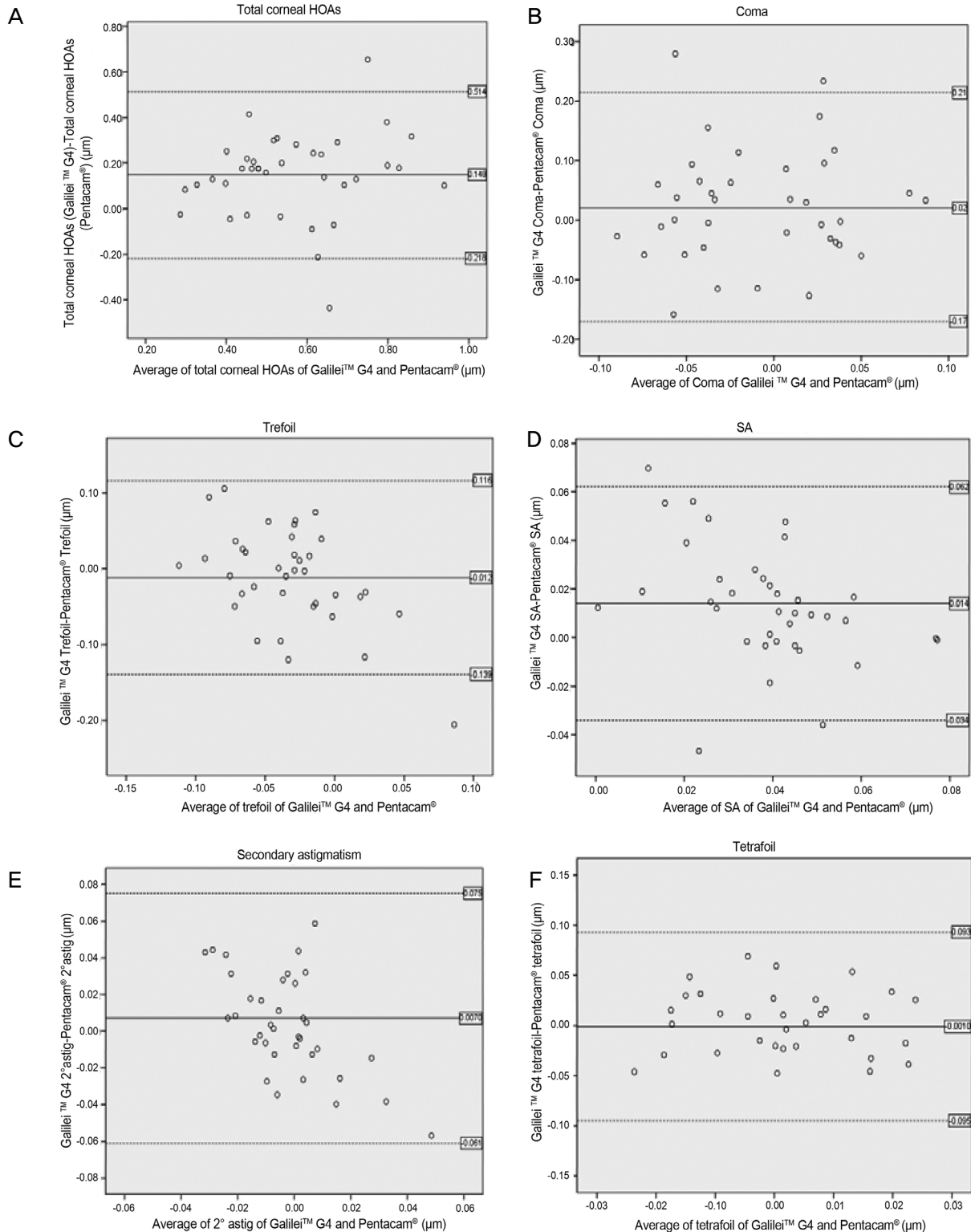


Figure 1. Bland-Altman plots showing the agreement between mean corneal aberrometers (μm) obtained by the 2 tomography devices: Galilei™ G4 and Pentacam®. (A-F) graphs plot the difference against the average of two measurements of corneal HOAs, with 95% limits of agreement (broken lines) and the mean difference (black line). (A) Total corneal HOAs, (B) Coma, (C) Trefoil, (D) Spherical aberration, (E) Secondary astigmatism, (F) Tetrafoil. HOAs = higher-order aberrations; SA = spherical aberration; 2° astig = secondary astigmatism.

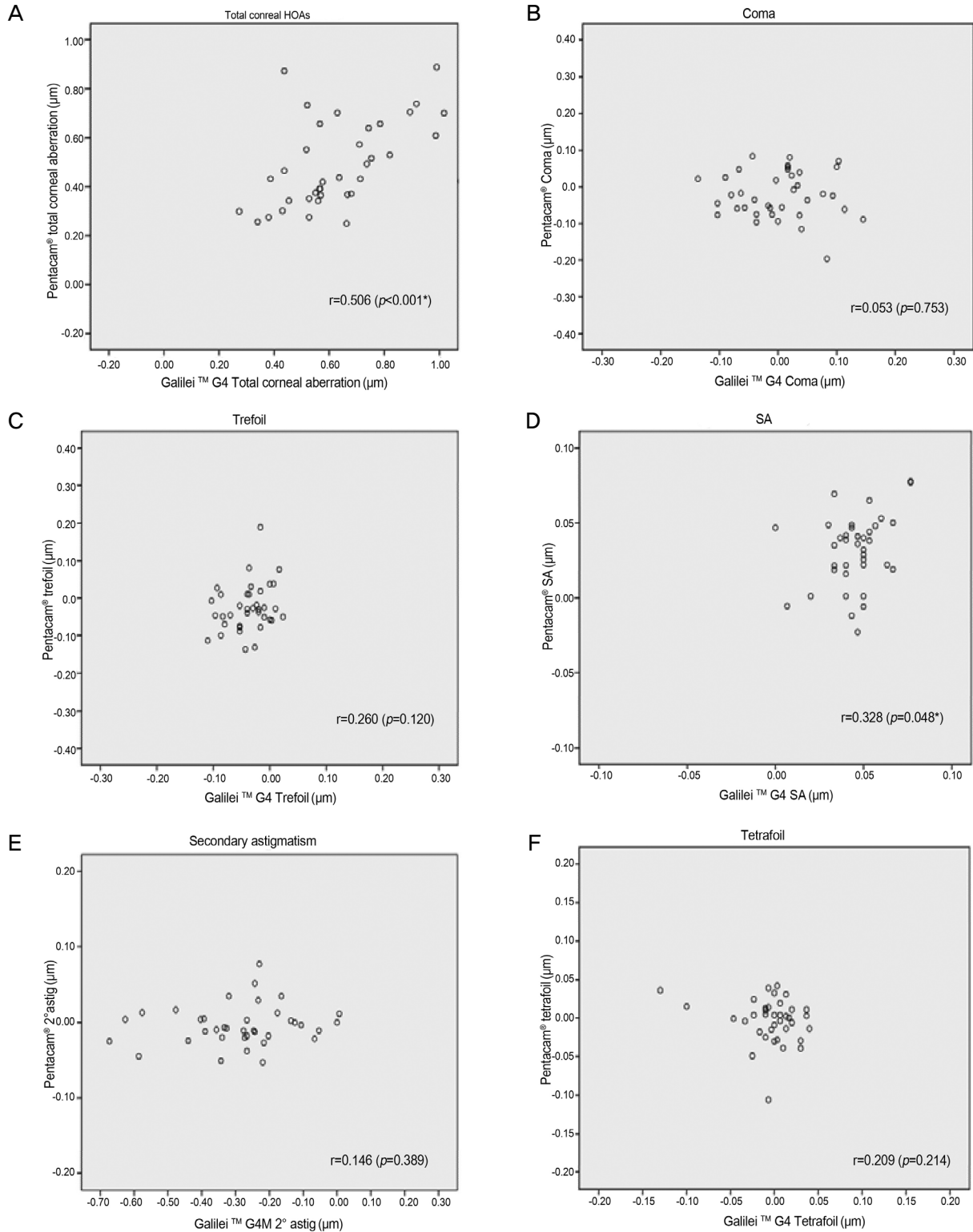


Figure 2. Correlations of measurements of corneal aberration using Galilei™ G4 and Pentacam®. (A-F) Shows measurements of total corneal HOAs using Galilei™ G4 against Pentacam® measurements. (A) Total corneal HOAs, (B) Coma, (C) Trefoil, (D) Spherical aberration, (E) Secondary astigmatism, (F) Tetrafoil. HOAs = higher-order aberrations; SA = spherical aberration; 2° astig = secondary astigmatism; r = Pearson correlation coefficient. *Statistically significant (p -value < 0.05, based on t -test).

정하는 데 이용되고 있음에도 불구하고 기기마다 그 재현성이 다르게 보고되고 있으며 기기 간 호환성에 있어서도 연구마다 다른 결과들을 보여주고 있다.^{6,9} 이에 본 연구는 샤임플러그 카메라를 이용한 각막 지형도 검사제인 Galilei™ G4와 Pentacam®의 각막 고위수차 측정의 재현성을 각각 평가하고, 두 기기 간 결과값을 비교하여 상호 호환성을 평가하고자 시행되었다.

본 연구에서 각막 고위수차 측정의 반복성을 평가한 결과, 두 기계 모두 총 각막 고위수차와 코마, 구면수차, 3차 총 고위수차, 이차난시등 대부분의 계측치에서 중등도 이상의 반복성을 보였으며, 세조각수차, 네조각수차, 4차항 및 5차항의 총 각막 고위수차는 0.75 미만의 낮은 ICC 값을 나타냈다. Aramberri et al¹⁴은 두 개의 샤임플러그 카메라를 사용하는 Galilei™ G2와 한 개의 카메라를 이용하는 Pentacam® 간의 고위수차 측정의 재현성에 대해 연구한 바 있으며, 본 연구 결과와 마찬가지로 세조각수차 및 네조각수차에서 낮은 재현성을 보임을 보고하였다. 최근 Cerviño et al¹⁵도 Galilei™ G4의 각막 고위수차 측정 결과에 대해 코마수차와 구면수차의 높은 반복성과 세조각수차의 낮은 반복성을 보고한 바 있어 본 연구와 비슷한 결과를 보였으며 이는 검사 시 시축의 위치 변화와 눈물막의 불안정성이 중심부보다 주변부의 Zernike 다항식에 영향을 주기 때문에 각막 주변부에서 보이는 고위수차인 세조각수차와 네조각수차는 낮은 반복성을 보이는 것으로 설명할 수 있다.¹⁶

본 연구에서 코마수차와 구면수차는 Pentacam®보다 Galilei™ G4에서 더 높은 ICC 값을 보였는데, 이는 두 대의 샤임플러그 카메라에 의한 빠른 촬영이 검사 시간이 길어지면서 발생할 수 있는 눈 움직임 등에 의한 오차를 줄임으로써 고위수차 값이 작고 쉽게 변하는 값을 측정할 때 재현성을 높일 수 있었을 것으로 생각할 수 있다. 실제 임상에서 코마수차와 구면수차는 각막 굴절 수술 전후에 존재하는 주된 각막 고위수차로 알려져 있어 눈부심 등의 증상과 연관된 고위수차의 판정에는 Pentacam®보다 Galilei™ G4가 더 재현성이 높고 신뢰할 수 있는 데이터를 제시할 수 있을 것이라 생각된다.^{17,18}

Domínguez-Vicent et al¹⁹은 Galilei™ G4와 Pentacam®의 전안부 계측치를 비교한 결과, 각막직경을 제외한 전방깊이, 전방각, 동공크기 등에서 두 장비의 계측치가 유의하게 차이를 보여 두 장비를 호환하여 사용하기 어렵다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 각막 고위수차 계측치만을 비교하였는데 Galilei™ G4와 Pentacam®으로 측정한 각막 고위수차 값 중 총 각막 고위수차값, 구면수차 및 5차 총 고위수차값에서 두 기기 간에 유의한 차이를 보였

다. Bland-Altman plot 분석 시 모든 고위수차에서 두 기기 간 측정치의 일치도는 낮았으며, 구면수차와 이차난시는 두 기기의 각막 고위수차 값이 작을수록 Galilei™ G4의 측정값이 Pentacam® 측정값보다 더 크게 측정되어 차이가 더 컸다. 총 각막의 고위수차나 구면 수차는 두 장비로 측정한 계측치가 양의 상관관계를 보였으며 Galilei™ G4가 Pentacam®의 측정값보다 큰 값을 가졌다. 각막의 고위수차는 비구면 인공 수정체의 선택 및 각종 각막 질환의 경과 관찰, 맞춤형 굴절 수술 등의 선택에 고려되는 수치라고 할 수 있는데, 본 연구 결과에서 두 장비 간에 낮은 일치도를 보이므로 동일한 원리로 측정되는 장비임에도 임상에서 상호 호환하여 사용하기는 어려울 것이라 생각된다. 다만 각막의 총 고위수차와 구면수차는 두 계측치가 상관관계를 보이므로 각각의 계측치 내에서 각막의 고위수차를 대략적으로 판단하는 데는 임상적으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. Pentacam®으로 측정한 각막의 고위수차 값은 국내보고로는 Shin et al⁹이 총 고위수차의 평균이 0.37 μm , 구면수차가 0.22 μm , 코마가 0.18 μm , 세조각수차가 0.10 μm 로 보고한 바 있다. 외국 보고에 따르면 Pentacam®은 총 고위수차가 0.36 μm , 구면수차가 0.21 μm , Galilei G2가 총 고위수차가 0.59 μm , 구면수차가 0.22 μm 등으로 보고된 바 있어 본 연구의 결과와 차이를 보였다.^{14,20} 샤임플러그 카메라 방식을 이용한 수차 기기로 각막 고위수차 측정 시 측정 범위, 동공중심의 위치 및 동공 크기 등의 차이에 의해서 변동을 보일 수 있는데 이러한 조건들이 본 연구와 완전히 동일하지는 않아 직접적인 비교는 어려우며 여러 조건하에서의 계측치에 대한 고찰은 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 이전 version의 기기를 사용한 외국 보고와 마찬가지로 본 연구에서도 총 고위수차값은 Pentacam® 수치보다 Galilei™ 수치가 더 크게 나타났으며 원인은 정확히 알 수 없으나 임상에서는 이를 고려하여 판단하는 것이 좋을 것으로 보인다.

두 기계는 원리와 측정 방식이 유사한 기계이나 각막 고위수차에서는 다른 각막의 측정치들과 마찬가지로 호환하여 사용되기는 어려우며 이는 측정하는 point의 수, 측정 시간, 실제 고위수차를 산출하는 방식의 미세한 차이 등에 의할 것으로 판단되며, 특히 각막 주변부의 변화에 의해 도출되는 고위수차의 값은 각 기계 자체의 반복성이 낮아 임상적으로 그 수치를 가지고 판단하기는 어려울 것으로 보인다. 본 연구 결과 두 수차기기는 비교적 재현성이 높은 검사이나 각막 고위수차의 측정치에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 현재 임상에서는 다양한 수차계가 사용되고 있으며 표준(gold standard)으로 사용되는 기계가 부재하기 때문에 어느 장비에서 각막 고위

수차값이 기준보다 크게 혹은 작게 측정되는 것인지를 단정짓기 어렵고 각 기계 고유의 특성을 고려하여 판단하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

본 연구는 비교적 젊은 연령의 정상안을 대상으로 함으로써 고위수차에 영향을 줄 수 있는 다른 요인을 최소화하고 Galilei™ G4와 Pentacam®의 각막 고위수차를 비교 분석하고자 하였다는 데 의의가 있다.

결론적으로 Pentacam®과 Galilei™ G4로 각막 고위수차를 측정하였을 때 두 장비는 비교적 높은 검사의 반복성을 보여주었다. 그러나 각막 고위수차 계측값의 낮은 일치도와 측정값에서 차이를 보였기 때문에 임상에서 서로 호환하여 적용하기에는 제한점이 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) Lombardo M, Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. J Cataract Refract Surg 2010;36:313-31.
- 2) Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. J Vis 2001;1:1-8.
- 3) Campbell CE. A new method for describing the aberrations of the eye using Zernike polynomials. Optom Vis Sci 2003;80:79-83.
- 4) Barkana Y, Gerber Y, Elbaz U, et al. Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system, optical low-coherence reflectometry pachymeter, and ultrasound pachymetry. J Cataract Refract Surg 2005;31:1729-35.
- 5) Lee YE, Jun RM. The intra and inter-examiner repeatability of corneal parameters obtained by GALILEI(TM) in normal subjects. J Korean Ophthalmol Soc 2009;50:1611-16.
- 6) Burakgazi AZ, Tinio B, Bababayan A, et al. Higher order aberrations in normal eyes measured with three different aberrometers. J Refract Surg 2006;22:898-903.
- 7) Yum JH, Choi SK, Kim JH, Lee DH. Comparison of aberrations in Korean normal eyes measured with two different aberrometers. J Korean Ophthalmol Soc 2009;50:1789-94.
- 8) Knapp S, Awwad ST, Ghali C, McCulley JP. Ocular aberrations measured by the Fourier-based WaveScan and Zernike-based LADARWave Hartmann-Shack aberrometers. J Refract Surg 2009;25:201-9.
- 9) Shin JY, Lee MY, Chung SH. Comparison of keratometry and corneal higher order aberrations between Scout videokeratoscope and Pentacam Scheimpflug camera. J Korean Ophthalmol Soc 2014; 55:1758-64.
- 10) McGraw KO, Wong SP. Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. Psychological Methods 1996;1:30.
- 11) Williams D, Yoon GY, Porter J, et al. Visual benefit of correcting higher order aberrations of the eye. J Refract Surg 2000;16:S554-9.
- 12) Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 2002;19:137-43.
- 13) López-Miguel A, Maldonado MJ, Belzunce A, et al. Precision of a commercial hartmann-shack aberrometer: limits of total wavefront laser vision correction. Am J Ophthalmol 2012;154:799-807.e5.
- 14) Aramberri J, Araiz L, Garcia A, et al. Dual versus single Scheimpflug camera for anterior segment analysis: precision and agreement. J Cataract Refract Surg 2012;38:1934-49.
- 15) Cerviño A, Domínguez-Vicent A, Ferrer-Blasco T, et al. Intrasubject repeatability of corneal power, thickness, and wavefront aberrations with a new version of a dual rotating Scheimpflug-Placido system. J Cataract Refract Surg 2015;41:186-92.
- 16) Wang L, Shirayama M, Koch DD. Repeatability of corneal power and wavefront aberration measurements with a dual-Scheimpflug Placido corneal topographer. J Cataract Refract Surg 2010;36: 425-30.
- 17) Netto MV, Ambrósio R Jr, Shen TT, Wilson SE. Wavefront analysis in normal refractive surgery candidates. J Refract Surg 2005; 21:332-8.
- 18) Yoon G, Macrae S, Williams DR, Cox IG. Causes of spherical aberration induced by laser refractive surgery. J Cataract Refract Surg 2005;31:127-35.
- 19) Domínguez-Vicent A, Monsálvez-Romín D, Aguila-Carrasco AJ, et al. Measurements of anterior chamber depth, white-to-white distance, anterior chamber angle, and pupil diameter using two Scheimpflug imaging devices. Arq Bras Oftalmol 2014;77:233-7.
- 20) Al-Sayyari TM, Fawzy SM, Al-Saleh AA. Corneal spherical aberration in Saudi population. Saudi J Ophthalmol 2014;28:207-13.

= 국문초록 =

두 샤임플러그 방식의 수차측정기기로 측정한 각막 고위수차 비교

목적: 정상안에서 Galilei™ G4 (Zeimer, Port, Switzerland) 와 Pentacam® (Oculus Inc., Wetzlar, Germany)으로 측정한 각막 고위수차를 비교해 보고자 한다.

대상과 방법: 정상안 41안을 대상으로 한 명의 검사자가 Galilei™ G4와 Pentacam®으로 각각 3회씩 반복하여 각막 고위수차를 측정하였다. 두 수차측정기의 검사자 내 반복성을 급내상관계수(Intraclass correlation coefficient, ICC)로 평가하였으며, 두 기기로 측정된 각막 고위수차 계측치를 비교하고 상관성을 알아보았다.

결과: 정상안에서 Galilei™ G4와 Pentacam®으로 측정한 각막 고위수차의 ICC는 세조각수차, 네조각수차 및 4차, 5차 총 고위수차를 제외한 모든 계측값에서 ICC가 0.81 이상으로 중등도 이상의 반복성을 보였다. 두 기기로 측정한 각막 고위수차의 root mean square (RMS) 값을 비교하였을 때, 총 각막수차($p < 0.001$), 구면수차($p = 0.001$) 및 5차 총 고위수차값($p < 0.001$)에서 두 기기 간에 유의한 차이를 보였다. 또한 기기 간 계측치의 일치도를 평가하였을 때 모든 고위수차 항목에서 두 기기 간에 낮은 일치도를 보였다. 총 각막수차와 구면수차는 두 기기 계측치 간에 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었으나, 그 외의 고위수차 계측값에서는 전반적으로 낮은 상관관계를 나타냈다.

결론: 동일한 원리의 두 기기는 각막 고위수차 측정에서 비교적 높은 재현성을 보이지만, 각막 고위수차 계측치에서 차이를 보이고 두 기기 간 낮은 일치도를 나타내므로 임상에서 상호 호환하여 사용하기에는 제한점이 있을 것으로 사료된다.

〈대한안과학회지 2015;56(10):1497-1504〉
