第54回 日本視能矯正学会

一般講演

正常角膜眼におけるプラチドリングとシャインプルークを用いた
角膜形状解析装置と前眼部Optical Coherence Tomography
による測定値の比較

橋爪 良太¹⁾・玉置 明野¹⁾・小島 隆司²⁾・長谷川亜里³⁾・市川 一夫¹⁾

¹⁾ 独立行政法人地域医療機能推進機構中京病院

²⁾ 岐阜赤十字病院

³⁾ 総合大雄会病院

Comparison of Measurements Obtained With Anterior Segment
Optical Coherence Tomography and Corneal Topographer Using a
Scheimpflug and Placido Ring in Healthy Eyes

Ryota Hashizume¹⁾, Akeno Tamaoki¹⁾, Takashi Kojima²⁾,
Asato Hasegawa³⁾, Kazuo Ichikawa¹⁾

¹⁾ Japan Community Healthcare Organization Chukyo Hospital

²⁾ Gifu Red Cross Hospital

³⁾ Daiyukai General Hospital

要 約

【目的】測定原理の異なる2つの角膜形状解析装置による各種測定値の比較。

【対象と方法】対象は、明らかな角膜疾患の無い白内障手術例120眼である。角膜前面をプラチドリング、断面画像をシャインプルークで取得するTMS-5 (TOMEY) と前眼部OCTの断層画像から角膜前後面の形状解析を行うCASIA (TOMEY) を用い、Keratometric (前面曲率半径と換算屈折率により近軸計算される値)、Posterior (後面のAxial power map)、Real (前後面のtotal power map) それぞれの屈折力と乱視量、高次不正乱視成分、中心角膜厚を比較した。統計解析にはwilcoxon符号順位検定及びBland-Altman Plotを用いた。

【結果】2機種の違いの平均±標準偏差は、Keratometricが 0.06 ± 0.20 D、Posteriorは 0.02 ± 0.06 D、Realは 0.03 ± 0.21 D、KeratometricとRealの乱視量は 0.07 ± 0.34 D、 0.03 ± 0.36 D、高次不正乱視成分は 0.01 ± 0.06 、中心角膜厚は $3.97 \pm 8.68 \mu\text{m}$ であった。各測定値は、Realを除き統計学的有意差を認

別冊請求先 (〒457-8510) 名古屋市南区三条 1-1-10 独立行政法人地域医療機能推進機構中京病院 眼科
Tel. 052 (691) 7151 Fax. 052 (692) 1273
E-mail : hashizume@chukyogroup.jp

Key words : 角膜形状解析、プラチドリング、シャインプルーク、前眼部OCT
corneal topography, Placido ring, Scheimpflug, anterior segment optical coherence
tomography

めたが、Bland-Altman Plotでは何れの項目においても加算誤差、比例誤差は認めなかった。

【結論】 正常角膜でのTMS-5とCASIAで乱視量には差が出る症例もあり注意が必要であるが、平均値の差は、臨床上問題ない程度と考えられた。

Abstract

【Purpose】 To compare the measurements obtained by two corneal topography devices based on different measurement principles.

【Subjects and Methods】 One hundred twenty eyes of 120 subjects were enrolled in this study. All the subjects are pseudophakic and had no history of corneal diseases. Two devices were used: the TMS-5 (TOMEY Corp.), which is an anterior segment analyzing system consisting of a Placido ring topographer and a 3D Scheimpflug camera, and the CASIA (TOMEY Corp.), which is an anterior optical coherence tomography system that analyzes the anterior and posterior corneal shapes from the cross sectional imaging and also for dimension measurements of the anterior and posterior corneal shapes. Refractive power values of Keratometric (calculated by paraxial conversion refractive index and the anterior radius of curvature), Posterior (axial power map of the posterior radius of curvature), and Real (corneal total power), astigmatism, high-order irregular astigmatism, and the central corneal thickness were measured and compared between the two devices. Wilcoxon signed ranks test and Bland-Altman Plots were performed for statistical analysis.

【Results】 The mean differences between the two devices were 0.06 ± -0.20 D for Keratometric, 0.02 ± 0.06 D for Posterior, and 0.03 ± 0.21 D for Real. The differences in astigmatism were 0.07 ± 0.34 D for Keratometric and 0.03 ± 0.36 D for Real. The mean difference in the high order irregular astigmatism was 0.01 ± 0.06 D. The difference in the central corneal thickness was $3.97 \pm 8.68 \mu\text{m}$. The measurements by the CASIA and TMS-5 exhibited statistically significant differences in all parameters except for Real. However, the Bland-Altman Plots showed agreements in all parameters.

【Conclusion】 It should be noted that in subjects with normal corneas, a difference could be seen between the astigmatism measurements by the CASIA and TMS-5.

However, the differences in the mean values were not considered clinically significant.

I. 緒言

白内障手術の眼内レンズ選択において、角膜形状解析は、トーリック眼内レンズの適応や強主経線切開及び輪部減張切開（LRI）の判断など角膜乱視のコントロールに重要な情報となる。

近年、角膜形状は前面のみならず後面の解析も可能になり、その主なものとしてシャインブルーク方式とスリットスキャン方式及び前眼部 Optical Coherence Tomography (OCT) があり、角膜前面はプラチドリング方式を採用しているものが多い^{1)~3)}。しかし日常臨床においては、測定機器によって異なる値を示す症例を経

験することから、原理の異なる角膜形状解析装置の使用には互換性に注意が必要で、様々な角膜形状解析装置の測定値を比較した報告がされている^{4)~9)}。今回我々は、角膜前後面の形状解析が可能な2つの装置を用いて同一症例での測定値を比較したので報告する。

プラチドリング及びシャインブルーク方式の角膜形状解析装置TMS-5（トーマコーポレーション）とSwept Source Optical Coherence Tomography（以下SS-OCT）による前眼部解析装置であるCASIA（トーマコーポレーション）を用いて、測定原理の異なる2つの機器による角膜形状解析結果を比較することである。

表1 角膜形状解析装置の比較

	角膜形状解析装置	
	TMS-5	CASIA
測定方法	Pracidorring及び Scheimpflug	Swept Source-Optical Coherence Tomography
測定領域	$\phi 0.35 \sim 11.7 \text{ mm}$ (曲率半径によって変化)	$\phi 10 \text{ mm}$
取得時間	0.5秒	0.3秒
画像構築	前面：25本のプラチドリリング 後面：スリット光による32本の 断層画像	16本の断層像

II. 対象及び方法

対象は、2012年1月から2012年10月に社会保険中京病院において白内障手術前に角膜形状解析を行った症例のうち、眼手術歴がなく明らかな角膜疾患の無い連続した120例120眼である。男性61眼、女性59眼、年齢は 70.7 ± 12.2 歳（平均 $\pm$ 標準偏差）である。コンタクトレンズを使用している者は除外した。TMS-5及びCASIAを用い、Keratometric、Posterior、RealそれぞれのAxial power、KeratometricとRealの乱視量、High order（フーリエ解析による高次不正乱視成分）、Pachymetry（中心角膜厚）を検討項目とし、測定値について比較検討を行った。Keratometricは、角膜前面曲率半径の平均値を角膜換算屈折率1.3375を用いて近軸計算される値で、Posterior（角膜後面屈折力）は、角膜前面中心を基準にして、屈折力換算はGullstrand模型眼の屈折率である角膜＝1.376、房水＝1.336を用いて近軸計算される。Real（角膜全屈折力）は、角膜前後面のトータルパワーマップで、前後面の屈折力の和に角膜厚み補正を加えて算出される値である。測定は、熟練した同一検者が同一被験者に対し連続して2機種の計測を行った。解析径について、TMS-5では角膜曲率半径により変化するが $\phi 0.35 \sim 11.7 \text{ mm}$ であり、CASIAでは $\phi 10 \text{ mm}$ である。

統計解析にはWilcoxonの符号順位検定を用い、有意水準は5%未満とした。また、2機種間の測定値の評価にはBland-Altman plotを用いた。Bland-Altman plotとは、2つの測定

値の差をy軸、2つの測定値の平均値をx軸にプロットした散布図で、系統誤差の有無を視認的、あるいは統計学的に明らかにする方法である。

III. 結果

TMS-5とCASIAによる各種測定値の平均 $\pm$ 標準偏差は、それぞれKeratometricが $44.20 \pm 1.23 \text{ D}$ と $44.13 \pm 1.21 \text{ D}$ 、Posteriorは $-6.22 \pm 0.20 \text{ D}$ と $-6.24 \pm 0.19 \text{ D}$ 、Realは $43.08 \pm 1.22 \text{ D}$ と $43.05 \pm 1.21 \text{ D}$ 、Keratometricの乱視量は $0.93 \pm 0.63 \text{ D}$ と $0.86 \pm 0.58 \text{ D}$ 、Realの乱視量は $0.98 \pm 0.64 \text{ D}$ と $0.95 \pm 0.58 \text{ D}$ 、高次不正乱視成分は 0.14 ± 0.05 と 0.15 ± 0.04 、中心角膜厚は $529 \pm 33.69 \mu \text{ m}$ と $533 \pm 33.84 \mu \text{ m}$ であった。二機種の差（TMS-5からCASIAを引いた値）の平均値は、Keratometricが $0.06 \pm 0.20 \text{ D}$ 、Posteriorは $0.02 \pm 0.06 \text{ D}$ 、Realは $0.03 \pm 0.21 \text{ D}$ 、Keratometricの乱視量は $0.07 \pm 0.34 \text{ D}$ 、Realの乱視量は $0.03 \pm 0.36 \text{ D}$ 、高次不正乱視成分は -0.01 ± 0.06 、中心角膜厚は $-3.97 \pm 8.68 \mu \text{ m}$ であった。Realの屈折力と乱視量を除いた全てにおいて統計学的有意差が認められた（表2）。Bland-Altman Plotによる95%信頼区間はKeratometricでは $-0.45 \sim 0.33 \text{ D}$ 、Posteriorでは $-0.15 \sim 0.10 \text{ D}$ 、Realでは $-0.45 \sim 0.39 \text{ D}$ 、Keratometricの乱視量は $-0.73 \sim 0.59 \text{ D}$ 、Realの乱視量は $-0.73 \sim 0.68 \text{ D}$ 、高次不正乱視成分は $-0.11 \sim 0.12$ 、中心角膜厚では $-13.06 \sim 20.99 \mu \text{ m}$ であった（図1～7）。2機種の

表2 TMS-5とCASIAで測定した各検討項目の平均値の比較

		平均值 (n=120)			
		TMS-5	CASIA	差 (TMS-5- CASIA)	p値
Keratometric (D)		44.20 ± 1.23	44.13 ± 1.21	0.06	0.0009*
Posterior (D)		-6.22 ± 0.20	-6.24 ± 0.19	0.02	<0.0001*
Real (D)		43.08 ± 1.22	43.05 ± 1.21	0.03	0.216
乱視量 (D)	Keratometric	0.93 ± 0.63	0.86 ± 0.58	0.07	0.03*
	Real	0.98 ± 0.64	0.95 ± 0.58	0.03	0.6772
高次不正乱視成分		0.14 ± 0.05	0.15 ± 0.04	0.01	0.03*
中心角膜厚(μm)		529 ± 33.69	533 ± 33.84	3.97	<0.0001*

Wilcoxon符号順位検定 (* $p < 0.05$)

図1 KeratometricのBland Altman plot
点線は95%信頼区間、実線は差の平均値を示す

図4 Keratometricの乱視量のBland Altman plot
点線は95%信頼区間、実線は差の平均値を示す

図2 PosteriorのBland Altman plot
点線は95%信頼区間、実線は差の平均値を示す

図5 Realの乱視量のBland Altman plot
点線は95%信頼区間、実線は差の平均値を示す

図3 RealのBland Altman plot
点線は95%信頼区間、実線は差の平均値を示す

図6 High orderのBland Altman plot
点線は95%信頼区間、実線は差の平均値を示す

図7 PachymetryのBland Altman plot
点線は95%信頼区間、実線は差の平均値を示す

測定値に加算誤差、比例誤差は認めなかった。測定値の差の $\pm 2SD$ と最大値を表3に示す。乱視量の差が最大であった症例はKeratometricで1.08D、Realでは1.26Dであった。乱視量においてTMS-5とCASIAの測定値に最大の差が出た症例のKeratometricの結果を呈示する(図8)。カラーコードを11段階のNormalized scaleにして表示すると、TMS-5では6~8本目のリングに屈折差が認められることがわかった。

表3 TMS-5とCASIAで測定した各検計項目の $\pm 2SD$ と差の最大値

CASIAとTMS-5の差			
項目		$\pm 2SD$	最大値
屈折力	Keratometric	$\pm 0.4D$	0.58D
	Posterior	$\pm 0.12D$	0.16D
	Real	$\pm 0.42D$	0.71D
乱視量	Keratometric	$\pm 0.68D$	1.08D
	Real	$\pm 0.72D$	1.26D
高次不正乱視成分	High Order	± 0.12	0.18
中心角膜厚	Pachymetry	$\pm 18\mu m$	35 μm

Ⅳ. 考按

今回、正常角膜において、TMS-5とCASIAの角膜屈折力の測定値は、Realを除き統計学的には有意差が認められたものの、その差の平均 $\pm$ 標準偏差は $0.07 \pm 0.34D$ (中心角膜厚は $3.97 \pm 8.68 \mu m$)以下であった。Giacomoらは、シャ

図8 TMS-5とCASIAの乱視量に差が出た症例

インブルーク方式とブラチド方式との比較を報告しており、その差の平均 $\pm$ 標準偏差は $0.23 \pm 0.04D$ であった。本研究による2機種種の測定値の差はさらに少なく臨床的には問題ない範囲と考えられる。

乱視量において、差の平均はKeratometricで $0.07 \pm 0.34D$ と小さかったが、最大で1.26Dの差を認めた症例があった。両者の測定値に差が出る原因として、Keratometricは、TMS-5では角膜曲率半径が7.8mmの模擬眼に対して $\phi 3mm$ 付近に相当するリングNo.6、7、8の3本のリングデータを用いて計算されており、CASIAでは断層像から常に $\phi 3mm$ 位置のHeightデータから楕円近似で求めているため角膜形状によっては、その計測位置は両者で異なることが考えられる。

また、CASIAでは、測定光による鏡面反射光の部分が、TMS-5のリング方式の第1リング径より幅があるため、中心部分の画像解析処理においては、マップの感度に差が出やすい症例があると考えられる。また、今回検討した両機種の特徴として角膜前面の形状解析では、ブラチドリリングを原理とするTMS-5は1リングあたり256点で最大6400~7100点と実測ポイントが多く、鋭敏で涙液の影響を受ける¹⁰⁾のに対し、CASIAでは計算に用いる断層像は16本であり、わずかな形状変化が見逃される可能性があることが報告されている^{11)~12)}。Keratometricの乱視量においてTMS-5とCASIAの測定値に最大の差が出た症例は、26段階の絶対スケールでは目

立たないが、カラーコードを11段階にして表示する (Normalized scale) と、TMS-5では6～8本目のリングに屈折差があることがわかった。現在、白内障手術はより良い裸眼視力の獲得が求められ、多焦点眼内レンズやトーリック眼内レンズなどの付加価値眼内レンズの適応を決めるにあたり、角膜乱視量の評価は重要な情報となるため、どのような場合に差が生じるのかは今後更に詳細な検討が必要と思われた。

角膜後面については、コーン型の撮像によるTMS-5では開瞼状態によってはスリット光が十分に入らず、断面の誤検出につながる場合があり、プラチドリリングとシャインブルークを撮影するのにコーン部分が切り替わる時間差があるため、被検眼によっては、微細な中心ずれや?液状態が変化する可能性がある。また、TMS-5ではシャインブルークの画像取得時間は0.5秒でCASIAの0.3秒と比べて長く、撮影中の固視ずれによる影響を受ける可能性があり、形状異常眼や、涙液層破壊時間短縮型ドライアイにおいては開瞼が容易で測定時間も短いCASIAの方が画像取得は有利であると思われる。Szalaiらは円錐角膜と正常角膜において、シャインブルーク方式とSS-OCTによる測定値には有意差を認めたがその差は臨床的には問題とならないレベルであることを報告しており¹³⁾、我々の研究の結果と一致すると考えられる。

本研究の課題点としては同メーカーの機種間での比較であるため、模型眼では校正されていることが考えられるので、今後他社の機種も含めて検討する必要があると思われる。また今回、白内障術前の患者を対象としており、平均年齢は70.7歳と高齢であった。Uchinoらの高齢者を対象にしたドライアイ調査では、約40%が涙液層破壊時間異常を認めており¹⁴⁾、対象者の中には涙液層異常の患者が含まれている可能性がある。

さらに今回の対象者は角膜形状異常眼を含んでいないので、円錐角膜など不正乱視や急峻な屈折変化をもつ角膜異常眼に対しても検討が必要と思われた。

本研究により、正常角膜においてはTMS-5

とCASIAによる測定値に臨床的な差は無く、互換性があると考えられたが、値に差を認める場合は、中心3mm付近のマイヤーリングの乱れや断層画像を注意深く確認し、両機種の特徴を理解した上で評価することが望ましい。

参考文献

- 1) 前田直之: 三次元光干渉断層計による角膜トポグラフィー. 眼科手術22: 203-206, 2009.
- 2) 根岸一乃: プラチド型角膜形状解析Update (TMS-5など). あたらしい眼科27 (臨増): 10-16, 2010.
- 3) Giacomo Savini, Michele Carbonelli, Alessandra Sbrigila, Piero Barboni, Giulia Deluigi, Kenneth J.Hoffer: Comparisison of anterior segment measurements by 3 scheimpflug tomographers and 1 Placido corneal topographer. J Cataract Refract Surg 37: 1679-1685, 2011.
- 4) Koray Budak, Timothy T. Khater, Neil J.Friedman, Jack T. Holladay, Douglas D.Koch: Evalution of relationships among refractive and topographic parameters. J Cataract Refract Surg 25: 814-820, 1999.
- 5) Fabio A. Guarnieri, Jose C. Guarnieri: Comparison of Placido-based, Rasterstereography, and Slit-scan Corneal topography Systems. J Refract Surg 18: 169-176, 2002.
- 6) Ugo De Sanctis, Alessandro Missolungi, Bernardo Mutani, Lorenzo Richiardi, And Federico M. Grignolo: Reproducibility and Repeatability of Central Corneal Thickness Measurement in Keratoconus Using the Rotating Scheimpflug Camera and Ultrasound Pachymetry. Am J Ophthalmol 144: 712-718, 2007.
- 7) Vishal Jhanji, Bingzhi Yang, Marco Yu, Cong Ye, Christopher Leung: Corneal thickness and elevation measurements using swept-source optical coherence tomography and slit scanning topography in normal and

- keratoconic eyes. *Clinical & Experimental Ophthalmology* 41: 735-745, 2013.
- 8) Takushi Kawamorita, Nanami Nakayama, Hiroshi Uozato: Repeatability and Reproducibility of Corneal Curvature Measurements Using the Pentacam and Keratron Topography Systems. *J Refract Surg* 25: 539-544, 2009.
- 9) 伴紀充, 坂詰明美, 林康司, 秦誠一郎: スウェプトソース前眼部OCT CASIAと回転式シャインプルーフカメラPentacamによる前眼部測定値の比較検討. *あたらしい眼科* 27 (11) : 1565~1568, 2010.
- 10) Kojima T, Ishida R, Dogru M, Goto E, Takano Y, Matsumoto Y, Kaido M, Ohashi Y, Tsubota K. : A new noninvasive tear stability analysis system for the assessment of dry eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 45 (5) : 1369-74, 2004.
- 11) 森秀樹: 前眼部OCT型トポグラファーの測定原理と特徴. *視覚の科学* 第32巻4号: 102~107, 2011.
- 12) 渡部大樹, 大鹿哲郎: 前眼部3次元光干涉断層計の利点と欠点. *日本の眼科* 82: 631~632, 2011.
- 13) Szalai E, Berta A, Hassan Z, Módos L Jr. : Reliability and repeatability of swept-source Fourier-domain optical coherence tomography and Scheimpflug imaging in keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 38 (3) : 485-94, 2012.
- 14) Uchino M, Dogru M, Yagi Y, Goto E, Tomita M, Kon T, Saiki M, Matsumoto Y, Uchino Y, Yokoi N, Kinoshita S, Tsubota K. The features of dry eye disease in a Japanese elderly population. *Optom Vis Sci.* 83 (11) : 797-802, 2006.
-