

角膜形状解析装置の測定精度に関する検討 —ワーキングディスタンスと測定精度との関連について—

征矢 耕一¹⁾, 稲用 和也²⁾, 小幡 博人³⁾, 宮田 和典³⁾, 水流 忠彦⁴⁾

¹⁾関東通信病院眼科, ²⁾旭中央病院眼科, ³⁾東京大学医学部眼科学教室

⁴⁾東京大学医学部附属病院角膜移植部

要 約

角膜形状解析装置におけるアライメント誤差が測定結果に与える影響とワーキングディスタンスとの関係を検討した。ワーキングディスタンスの異なる3種の角膜形状解析装置を用い、polymethylmethacrylate テスト球を対象にアライメント状態および前後、左右へ微動させた状態での測定を行った。アライメントの良い状態では、ワーキングディスタンスと測定精度に有意な相関は認めなかった。対象が前後にずれた場合、近づくにつれて屈折力測定値は減少、遠ざかるほど増加し、この変化率はワーキングディスタンスが大きいかほど小さくなり、両者はほぼ

反比例した。対象が水平にずれた場合は3装置に共通する規則的な変化は現れなかった。前後ずれは水平ずれよりもカラーコードマップ上に明らかな異常として現れないために、実際の人眼の測定では前後方向のフォーカシング法に高い精度が要求されると考えられた。(日眼会誌 99: 76-80, 1995)

キーワード: 角膜形状解析装置, ワーキングディスタンス, 測定精度, アライメント, テスト球

Experimental Studies on Influence of Alignment Errors on Measurement in a Corneal Topographic System —Relationship between Degree of Measurement Error and Working Distance—

Koichi Soya¹⁾, Kazuya Inamochi²⁾, Hiroto Obata³⁾,
Kazunori Miyata³⁾ and Tadahiko Tsuru⁴⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, Kanto Teishin Hospital

²⁾Department of Ophthalmology, Asahi General Hospital

³⁾Department of Ophthalmology, University of Tokyo School of Medicine

⁴⁾Section of Corneal Transplantation, University Hospital, University of Tokyo School of Medicine

Abstract

To evaluate the influence of alignment errors in focusing on the results of measurements in corneal topography, we experimented using polymethylmethacrylate balls with definite radii of curvature as test objects. We used 3 different corneal topographic systems with different working distances to clarify the relationship between the degree of errors and the working distance. We determined the refractive power of the test balls by the topographic systems and studied changes in the values as the balls were slightly displaced from the alignment position axially, or horizontally. The test balls were set on the stage with a micrometer so that the distance of displacement could be determined precisely. When the test balls were placed precisely in alignment, there was no significant relationship in the magnitude of measurement errors with working

distance of the topographical systems. When the test balls were displaced axially, the measurement values decreased as the balls come near from the alignment position and increased as they moved away from the alignment position. The magnitude of the measurement errors caused by back and forth displacement of the object became larger as the working distance of the topographic system became shorter. There was no specific relationship between the degree of measurement errors and the working distance when the balls were displaced horizontally. (J Jpn Ophthalmol Soc 99: 76-80, 1995)

Key words: Computerized corneal topographic system, Working distance, Accuracy, Alignment, Test sphere

別刷請求先: 113 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学医学部眼科学教室 征矢 耕一
(平成6年5月13日受付, 平成6年8月8日改訂受理)

Reprint requests to: Koichi Soya, M.D. Department of Ophthalmology, University of Tokyo School of Medicine,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

(Received May 13, 1994 and accepted in revised form August 8, 1994)

I 緒言

近年、角膜形状解析法は、臨床診断および角膜中央部の形状変化の観察において有用な検査法となっており^{1)~3)}、今後さらに角膜屈折矯正手術⁴⁾の普及に伴い、利用頻度は確実に増加すると考えられる。現在使用されている各種の角膜形状解析装置は、ケラトコーン形状、ワーキングディスタンス（アライメント状態での対象眼とケラトコーンとの距離；ただし、ケラトコーンとビデオが近接しているとする）、フォーカシング法、センタリング法、さらにはビデオイメージ画像の解析法などが異なっており、このために測定対象の位置ずれによって、各装置の測定精度は各々異なった特徴を示す。

臨床上、患者の固視が悪いと、正確な焦点合わせが困難になり、正確な測定が行えないことがある。この場合、ワーキングディスタンスが大きければ、焦点ずれの影響は相対的に小さくなることになり、したがって、ワーキングディスタンスは、測定精度に大きな影響を与えると考えられる。今回我々は、ワーキングディスタンスの異なる角膜形状解析装置を用いて、ワーキングディスタンスが測定精度に与える影響について比較検討を行った。

II 実験方法

角膜形状解析装置は、ワーキングディスタンスの異なる3種の角膜形状解析装置：TMS-I[®] (Computed Anatomy 社、以下、TMS)、SK-2000[®] (Sun Contact

社、以下、SK-2000)、Corneal Analysis System[®] (EyeSys Laboratories 社、以下、EyeSys) を使用して測定を行った。3装置のワーキングディスタンスは、それぞれ TMS：55.5 mm、SK-2000：78.0 mm、EyeSys：97.0 mm であった(図1)。SK-2000 および EyeSys は製造元で指定されているキャリブレーションを行ったが、TMS では指定されていないために、キャリブレーションを行わずに使用した。測定対象には3種の polymethylmethacrylate (以下、PMMA) 製テスト球を用いた。3種のテスト球のレーザー干渉計 (Zygo 社) を用いた曲率半径の測定値は、それぞれ 9.0365 mm、7.9497 mm、7.1153 mm ± 0.0003 mm、対応面屈折力値は 37.3485 D、42.4544 D、47.4329 D ± 0.016 D であった(曲率半径 × 面屈折力値 = 337.5 を用いた)。テスト球は、10 μm 単位で動く X-Y 軸メカニカルステージ (中央精機社) に固定し、測定した。面屈折力の測定は各4回行い、その平均値を用いて測定精度の解析を行った。

実験1：アライメント状態における測定精度

3種のテスト球をアライメント状態に固定して測定を行った。測定結果のうち、テスト球上の半径 1.0、2.0、3.0 mm に相当する3本のコンターリング (contour ring) において、全周での平均測定値および標準偏差値を算出し、測定精度を解析した。なお、解析に用いた3本のリングは、TMS では内側から 5、11、17 番リング、同様に SK-2000 では 3、7、11 番リング、EyeSys では 3、7、10 番リングに相当する (それぞれのリングは TMS

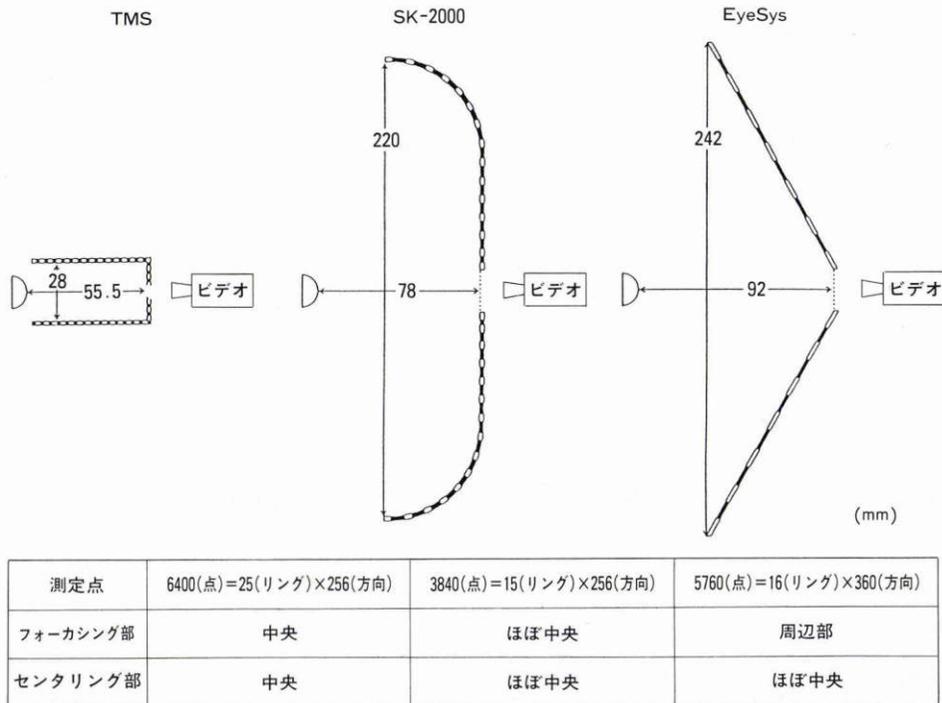


図1 装置の概要。

TMS-1[®] (Computed Anatomy 社、以下、TMS)、SK-2000[®] (Sun Contact 社、以下、SK-2000)、Corneal Analysis System[®] (EyeSys Laboratories 社、以下、EyeSys) の概要を示す。

が256点, SK-2000が256点, EyeSysが360点で構成されている. 図1).

実験2: 前後方向への微動による測定精度

42.4544 D テスト球を実験1のアライメント状態から前後方向に±100, 300, 500 μm 微動させて, フォーカシングがずれた状態の測定を行った. 測定精度の解析には, 実験1と同様の3本のリングの平均測定値を用いた.

実験3: 水平方向への微動による測定精度

42.4544 D テスト球を実験1のアライメント状態から水平180度方向に50, 100, 200, 300 μm 微動させ, センタリングがずれた状態の測定を行った. 測定精度の解析には, 8方向(0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315度方向)上の平均測定値を用いた. 平均測定値は, TMSでは10, 11, 12番リングの8方向上の3点, 同様にSK-2000では6, 7, 8番リング, EyeSysでは6, 7, 8番リング上の3点の測定値から算出した.

III 結果

実験1: アライメント状態における測定精度

アライメント状態における3種のテスト球の面屈折力は, TMSでは47.4329 D テスト球での中心1.0 mm でやや高い測定値が得られ, またバラツキも大きかった. SK-2000では47.4329 D テスト球の中心3.0 mm で測定値は高く, 42.4544 D テスト球の中心, 1.0 mm では低く, またバラツキは大きく現れた. EyeSysではいずれのテスト球でも, 中心からの距離に関係なく一定の測定値が得られ, また, 標準偏差値も小さかったが, 37.35 D テスト球の測定値は高かった. アライメント状態では, 測定値とワーキングディスタンスの関係を示唆する結果は得られなかった.

実験2: 前後方向への微動による測定精度

3装置ともテスト球が近づくほど面屈折測定値は減少し(以下, flat化), 遠ざかるほど増加(以下, steep化)する傾向を示した. 前後への移動と屈折力測定値はほぼ

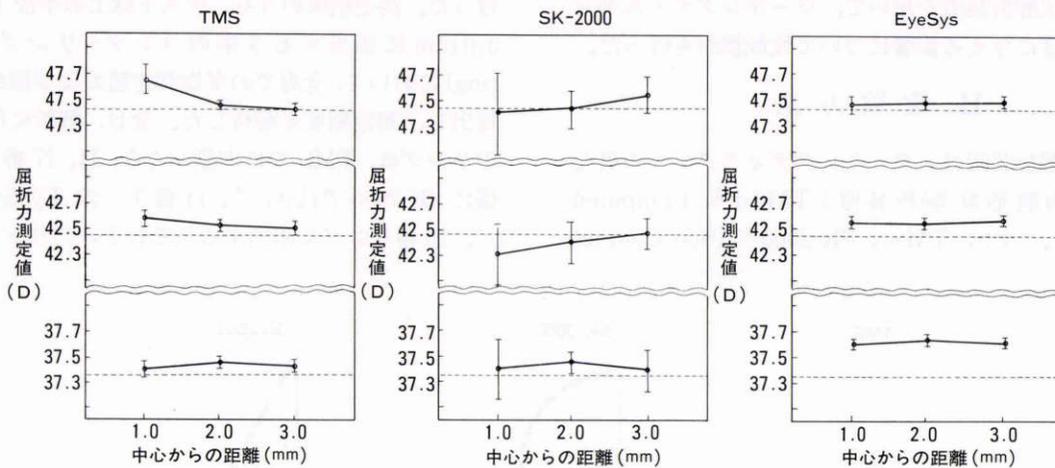


図2 アライメント状態における測定精度 (平均値±標準偏差値). 点線は3種のテスト球の屈折力値 37.3485, 42.4544, 47.4329 D を示す.

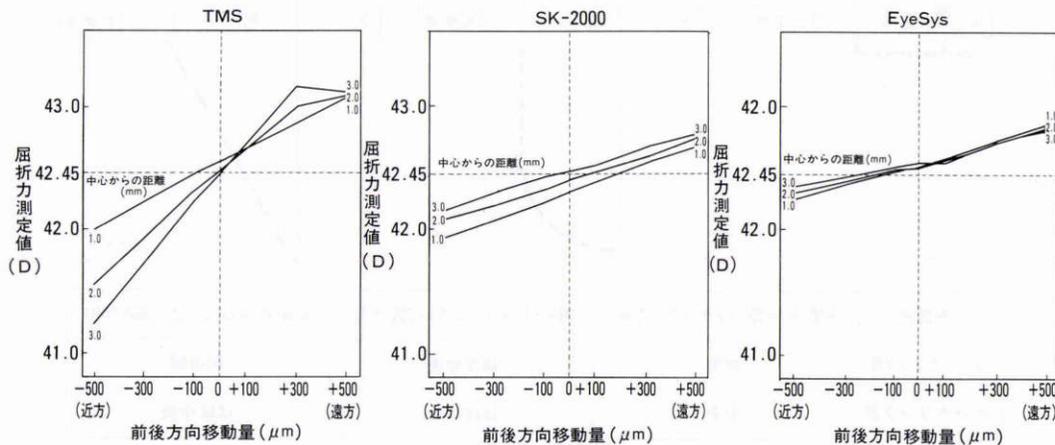


図3 前後方向への微動による測定精度 (平均値).

3装置とも対象が近づくとflat化, 遠ざかるとsteep化する傾向を示した. 点線はテスト球の屈折力値42.4544 Dを示す.

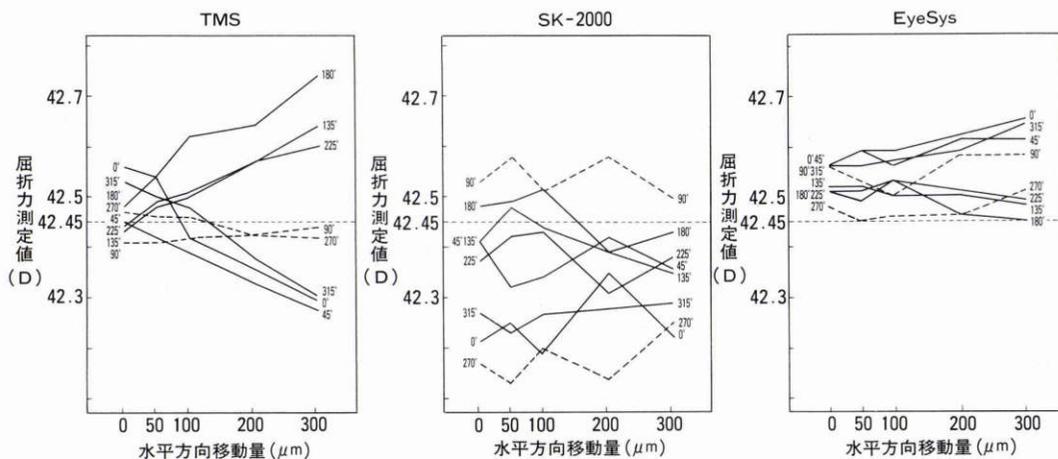


図4 水平方向への微動による測定精度(平均値)。

3装置に共通する規則的な変化はなく、TMSとEyeSysでは逆の変化を示した。点線はテスト球の屈折力値42.4544Dを示す。

直線関係を示した。各装置の半径1.0mmの回帰直線の傾きは、それぞれTMSでは0.101, SK-2000では0.068, EyeSysでは0.060(D/100μm)となっており、各リングのワーキングディスタンス値にほぼ反比例した。同様に各装置内のリング別の変化では、TMSは内側リングほど傾きが小さいのに対して、SK-2000, EyeSysは逆に大きくなった。

実験3：水平方向への微動による測定精度(図4)

TMSにおいては移動方向(135, 180, 225度)ではsteep化、反対の0, 45, 315度側ではflat化を示した。これに対して、EyeSysでは逆の傾向を示した。また、SK-2000では規則的な変化は示さなかった。水平方向の微動では、ワーキングディスタンスの変化による規則的な測定値変化は見られなかった。

IV 考 按

過去にもケラトメーターやフォトケラトスコープと角膜形状解析装置の測定精度を検討した報告⁵⁾⁶⁾や、EyeSysとTMSのアライメント状態における、装置全体としての測定精度ないし繰り返し精度の検討⁷⁾⁸⁾、および1装置のアライメント誤差を論じた報告⁹⁾はあるが、対象がアライメント状態から外れた場合の、測定精度とワーキングディスタンスとの関係はまだ検討されていない。今回我々は、角膜形状解析装置におけるワーキングディスタンスと測定精度の関係を検討するために、一定の曲率をもつ3種類のテスト球を対象にワーキングディスタンスの異なる3装置を用いて比較検討を行った。球体を用いた理由は、全面において面屈折力値が一定しているために、角膜形状解析装置の基本的な測定精度を検討するには有効と考えられたためであった。

今回使用した3装置はワーキングディスタンス、フォーカシング法、センタリング法、ケラトコーン形状、さらにはビデオイメージ画像の解析法など、相互に全く

異なる装置であった。にもかかわらず、前後のずれに対しては対象が近づくと測定値はflat化、遠ざかるとsteep化へと誤差を生ずる傾向を示し、しかもこの誤差はワーキングディスタンスが短いほど大きくなる傾向があった。全く異なる3装置において現れたこの結果は、前後ずれつまりデフォーカスによる測定誤差は、主にワーキングディスタンスに支配されていることを示唆するものと考えられた。また、この傾向は各装置内の異なるリング間でも認められた。これは3装置のケラトコーン形状がテスト球、ひいては人眼角膜の曲率を模して作られていないために、各リングのワーキングディスタンスにばらつきを生じたために現れたものと考えられる。図1からもわかるように、人眼角膜の曲率形状から最もはずれたケラトコーン形状を有するTMSで、この傾向は大きく現れた。

水平方向のずれでは、3装置の測定結果に一定の変化は認められず、さらにTMSとEyeSysでは逆の変化傾向を示した。水平方向のずれによって生じる測定誤差は、幾何学的なワーキングディスタンスの影響ではなく、光学的なビデオイメージ画像の取り込みレンズ形状の違い、つまりセンタリングがずれたときの画像の歪みが主要原因ではないかと、我々は推察している。

さて、前後ずれと水平ずれ時の測定誤差は、グラフ上単位距離あたりに、ほぼ同程度に現れていることがわかった。しかし、カラーコードマップ上での変化は、前後ずれの場合、3装置とも全面にほぼ均一な変化として現れることが図3から読みとれる。一方水平ずれは、特にTMSおよびEyeSysにおいて帯状変化として現れる傾向が図4から読み取れる。つまり、前後ずれは水平ずれよりもカラーコードマップ上では視覚的に明確な異常として現れにくいことになり、不正確な測定を行っても、カラーコードマップ上ではその異常に気づかず、取り直しの機会を逸する危険性があるといえる。このことから、

前後方向のフォーシング法は、センタリング法よりも高い精度が要求されると考えられた。

ワーキングディスタンスの小さい装置は、装置全体を小型化することができる利点を有する。しかし、今回の結果では少なくともフォーカシング操作においては、測定精度の向上のためにワーキングディスタンスを大きくとること、つまり、ケラトコーンを大きくすることや、精度の高いオートフォーカス機構の搭載などの改良が必要であると考えられた。

今回の結果は機械のみのデータであり、実際の人眼測定時の精度は、検者のフォーカシングおよびセンタリング操作の確実さに左右されることになる。したがって、実際の角膜形状測定時には検者にとって簡便かつより正確なフォーカシング、さらにはセンタリング方法を導入することが、ワーキングディスタンスの大きさとともに、装置の測定精度を向上させるポイントになると考えられた。

文 献

- 1) **Klyce SD**: Computer-assisted corneal topography: Highresolution graphic presentation and analysis of keratometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 25: 1426—1435, 1984.
- 2) **Wilson SE, Lin DT, Klyce SD**: Corneal topography of keratoconus. *Cornea* 10: 2—8, 1991.
- 3) 征矢耕一, 大矢智博, 大鹿哲郎, 宮田和典, 江口秀一郎, 徳永忠俊: 小切開創白内障手術後の角膜形状解析. *臨眼* 48: 429—435, 1994.
- 4) **Wilson SE, Klyce SD, McDonald MB, Liu JC, Kaufman HE**: Changes in corneal topography after excimer laser photorefractive keratectomy for myopia. *Ophthalmology* 98: 1338—1347, 1991.
- 5) **Hannush SB, Crawford SL, Waring GO, Gemmill MC, Lynn MJ, Nizam A**: Accuracy and precision of keratometry, photokeratoscopy, and corneal modeling on calibrated steel balls. *Arch Ophthalmol* 107: 1235—1239, 1989.
- 6) **Koch DD, Wakil JS, Samuelson SW, Haft EA**: Comparison of the accuracy and reproducibility of the keratometer and the EyeSys Corneal Analysis System Model I. *J Cataract Refract Surg* 18: 342—347, 1992.
- 7) **Wilson SE, Verity SM, Conger DL**: Accuracy and precision of the corneal analysis system and topographic modeling system. *Cornea* 11: 28—35, 1990.
- 8) **Maguire LJ, Wilson SE, Camp JJ, Verity SM**: Evaluating the reproducibility of topography systems on spherical surfaces. *Arch Ophthalmol* 111: 259—262, 1993.
- 9) **Legesis JM, Ren Q, Simon G, Parel JM**: Computer-assisted corneal topography: Accuracy and reproducibility of the topographic modeling system. *Refract Corneal Surg* 9: 347—357, 1993.