

図3 プラチドリリングを基にした球面レンズの選択  
左から軽度, 中等度, 重度の円錐角膜.

せて安定感を出すと良い。フラット・メソッドの利点は、軽症から角膜移植が適応になる最重症の円錐角膜でも処方が可能で、かつ比較的良好な視力が得られる点であり、また、オルソケラトロジー効果で角膜形状がフラット化して進行予防も期待できることである。

## II 円錐角膜に対する ICRS

ICRSは瞳孔中心から約6.0mm部位の角膜厚が400 $\mu$ m以上あることが条件とされており、Amsler-Kru-meich分類のStage 1~2<sup>(4)</sup>の比較的軽症の円錐角膜が対象となることが多い。軽症例にICRSを施行すると、裸眼視力や眼鏡矯正視力が向上するだけでなく、円錐角膜の進行予防も期待できる。

リングの挿入のためのトンネルは、以前はマニュアルで作製されていたため角膜穿孔の危険性があった。近年、フェムトセカンドレーザーの普及によりトンネル作製が安全かつ容易となり施行する施設が増えている。

屈折矯正としても球面矯正度数は2~3Dと軽度なので、術後裸眼視力のみでの生活を期待するのはむずかしいことが多い。基本的には術後のRGPCl装用に納得してもらったうえで行うことになる。角膜後面の乱視、不正乱視が軽減してRGPCl装用での視機能改善も期待できる<sup>(5)</sup>。眼鏡矯正視力が改善すれば有水晶体内レンズを行える症例もある。

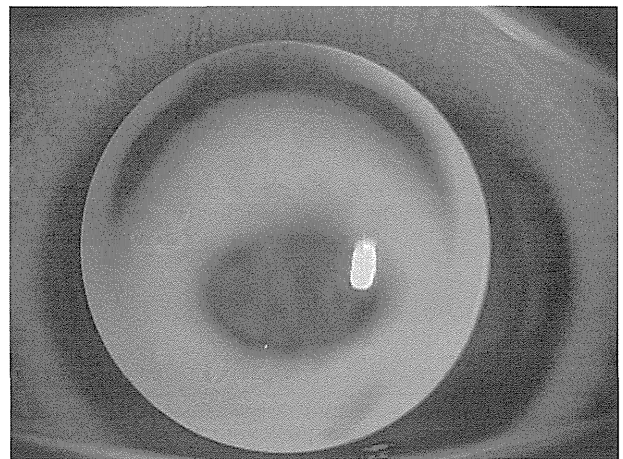


図4 球面レンズを装用した円錐角膜の前眼部写真(フラット・メソッド)

角膜中央部と上方が2点で接触したフィッティングであり、レンズ下方は浮いている。

## III ICRS 術後の円錐角膜に対する RGPCl 処方

ICRS術後に、さらなる視力改善をめざしてRGPCl処方が行われる。最近では重症の円錐角膜に対しても、角膜移植術の前段階の治療としてICRSを施行されるが、軽症例と異なり、もともとの角膜の突出が強いゆえにICRSを施行しても大きな視力改善は期待できないため、RGPClの再装用は必須である<sup>(6)</sup>。基本的に、ICRS術後には角膜屈折力が大きくなって角膜が台形化するため、ツインベルタイプやツインベルベベルトーリック(いず

(41)

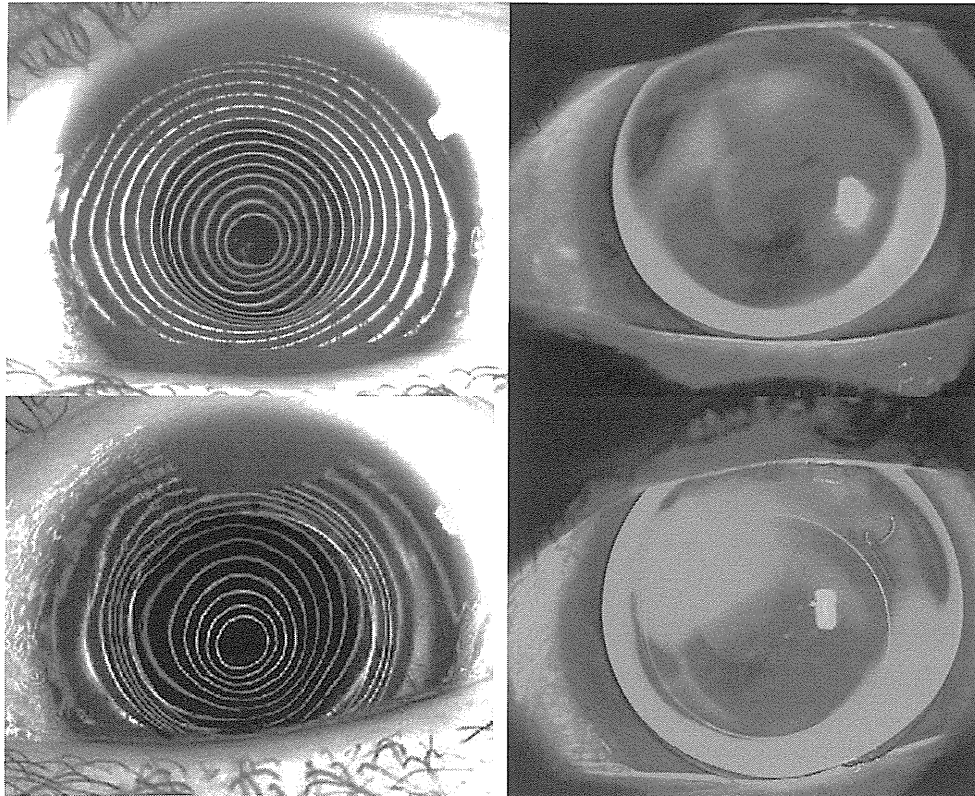


図5 角膜内リング挿入術後のRGPCL処方

左上：術前のプラチドリング像。右上：術前の球面レンズによるRGPCL処方。左下：ICRS術後のプラチドリング像。術後には角膜中央部のリングの間隔が大きくなって角膜が扁平化しているのがわかる。右下：ICRS術後にツインベルタイプを処方。逆形状多段階カーブを選択すれば良好なフィッティングが得られる。

れもサンコンタクトレンズ社)のような逆形状多段階カーブレンズが奏効する<sup>16,17)</sup>。これらのRGPCLの特徴は、角膜中央のベースカーブに比べて中間カーブのベースカーブが小さく設計されており、ICRS術後で中央が扁平化して角膜全体の形状が台形化した場合でもアピカルタッチをめざすことができる(図5)<sup>18)</sup>。レンズサイズは、9.3mmもしくは10.0mmの2種類が選択でき、トライアンドエラーを行ってベストなデザインを選択する。大きな光学領域で角膜中央6.0~8.0mm直径の範囲内に挿入された弧状のリングをカバーできるため、安定した装用と良好な視力が得られる。ICRS術後のRGPCLについて検討した筆者らの報告では、逆形状多段階カーブレンズのベースカーブは術前に装用していた球面レンズのベースカーブと同程度であったことか

ら<sup>5)</sup>、術前に装用していたRGPCLが球面レンズであればそれを参考にすると良い。逆に、術前に円錐角膜用の多段階カーブレンズを装用していた場合、同じ規格を装用し続けると角膜びらんなど障害が生じやすいため<sup>6)</sup>、術後の角膜形状の変化にあわせてデザインを見直しをしなければならない。

#### IV 角膜屈折矯正術後のRGPCL処方

屈折矯正手術後にコンタクトレンズを処方するのは、低矯正になって近視が残ってしまった場合と、手術によって角膜不正乱視が生じた場合の2通りである。前者は追加手術できなければ(もしくは希望がなければ)、眼鏡かコンタクトレンズで対応ができ、ソフトコンタクトレンズならほぼ問題なく装用できる。問題となるのは追

加手術できない角膜不正乱視である。屈折矯正術後に不正乱視を生じる原因としては、過剰照射や術後感染症などがあげられる。屈折矯正術後に RGPCL を処方する場合、角膜周辺部から中央部にかけて急激に形状がフラット化するため、瞬目でレンズが急速落下し、センタリングも悪くなることが多いため、リバースジオメトリータイプの RGPCL (例：ツインベル LVC；サンコンタクトレンズ社) が必要になる。また、角膜中央部の扁平化によりレンズ下に涙液が貯留して眩しさの原因となるため、アピカルタッチをめざしてベースカーブを選択する必要がある (図 6)。角膜の不正性がかなり高度なゆえに、最初はベストなフィッティングが得られないことも多いが、装用を続けるうちに角膜形状が改善することもある (図 7)。角膜形状が改善すると、適宜、HCL デザインや度数の見直しをすることが大切であり、患者が不具合を感じてもできるだけ装用を継続すること、また、こちらも根気よく対応していくことを説明しなければならない。

## V 角膜屈折矯正術後の不正乱視を考慮したレーザー追加照射

現在のエキシマレーザー照射機器には、アイトラッキング、眼球回旋補正、瞳孔中心位置補正などの機能が備わっており、レーザー照射自体で不正乱視を惹起することはきわめて少ない。

何らかのアクシデントで不正乱視が生じた場合においても、角膜厚みが十分残っており眼鏡矯正視力が 1.0 で

る程度の不正乱視ならば、不正乱視まで定量して矯正するカスタム照射で通常の術後レベルまで改善できる可能性がある (図 8)。

眼鏡矯正視力が 1.0 に届かない場合には、改善を期待してカスタム照射を行うことがあるが複数回の照射が必要になるケースが多い。とくにセントラルアイランドといわれる角膜中央部小領域の突出は大幅な軽減は期待できない。また、放射状角膜切開術 (radial keratotomy：RK) 術後では球面や乱視度数は軽減できても、深い切

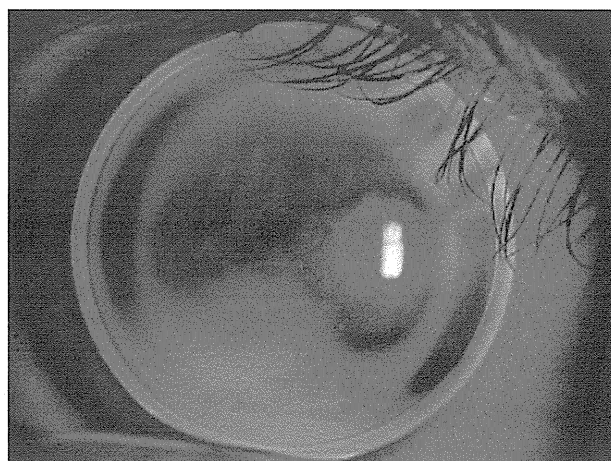


図 6 屈折矯正術後の不正乱視へのツインベル LVC 処方  
ツインベル LVC の直径は 10.0 mm であり、台形化した角膜を安定してカバーすることができる。屈折矯正術後は強い角膜不正乱視ゆえに、瞬目によるレンズの動きが大きくなるため、センタリング改善を目的にレンズ周辺フロント側に溝加工を施している。

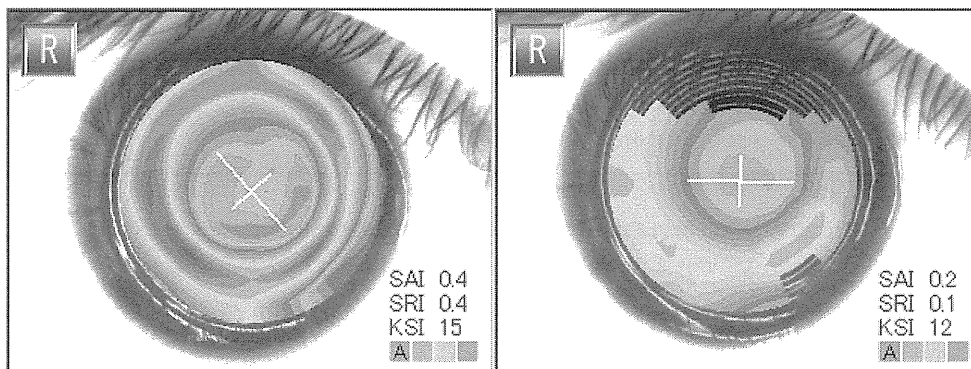


図 7 図 6 の症例の角膜形状解析

左：RGPCL 装用前。右：RGPCL 装用開始 3 ヶ月後。RGPCL 装用により、角膜形状がきれいに改善した。

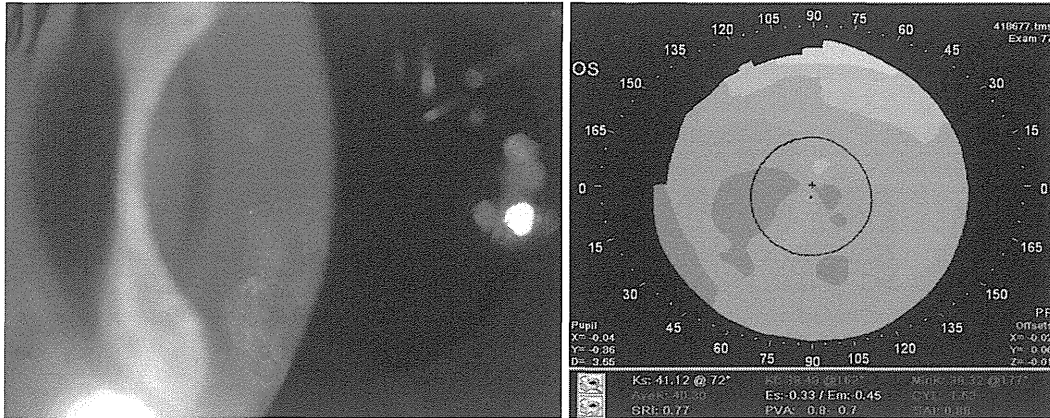


図8 LASIK術後2週間に虫が目に入りフラップが断裂したのち5年経過した症例  
 左：細隙灯顕微鏡所見。右：角膜形状解析。フラップ断裂による角膜瘢痕と不正乱視が明らかである。カスタム照射によるPRKで照射前視力0.3(1.0)が照射後1.2(1.5)に改善した。

開による視軸近くの不正乱視は軽減できない。もし、行う場合には限界を十分理解してもらったうえでの追加矯正になる。

#### おわりに

円錐角膜は若い年代で発症して進行し、視力低下をきたす疾患であり、勉学や仕事、車の運転など社会生活を送るうえで大きな支障をきたす。また、屈折矯正術後の不正乱視は、もともと患者が裸眼視力の回復を願って屈折矯正手術を受けているために、合併症を生じて視力が低下すると大きな不満を抱えることとなる。視力回復への希望が貪欲であり、かつRGPCL処方後も装用感や見え方に少しでも満足できない点があると、他の患者以上に不具合を訴えることが多く治療に難渋する。一般に、円錐角膜あるいは屈折矯正術後の不正乱視に対するRGPCL処方は大変にむずかしく眼科医の経験が必要とされるが、上手く処方できれば患者満足度が高まり患者のQOV (quality of vision) を改善できるので積極的に取り組んでいきたいものである。

筆者らは円錐角膜の治療の選択肢の一つとしてICRSは有用な治療法だと考えるが、残念ながら、まだ日本では反対意見を唱える眼科医も少なくない。その背景には、患者が過度に視力改善を期待する、あるいは術後に適切にRGPCL処方がなされないといったことがあげられ、ICRSを抜去するという不幸なケースを経験するか

らであろう。円錐角膜にICRSを行うことで裸眼もしくは眼鏡矯正視力の改善が得られ、術後にも積極的にRGPCLが処方されれば、さらなる視力改善が得られるため、十分なインフォームド・コンセントを行いながら、術者とRGPCLを処方する眼科医が連携をとって対応できれば素晴らしいと考える。

#### 文 献

- 1) Colin J, Cochener B, Savary G et al : Correcting keratoconus with intracorneal rings. *J Cataract Refract Surg* **26** : 1117-1122, 2000
- 2) Boxer Wachter BS, Christie JP, Chandra NS et al : Intacs for keratoconus. *Ophthalmology* **110** : 1031-1040, 2003
- 3) Colin J, Malet FJ : Intacs for the correction of keratoconus : Two-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* **33** : 69-74, 2007
- 4) 荒井宏幸 : 特集円錐角膜 : 円錐角膜に対するICR (Intracorneal Ring). *あたらしい眼科* **27** : 449-452, 2010
- 5) 山岸景子, 東原尚代, 稗田 牧ほか : 角膜内リング挿入術後眼へのハードコンタクトレンズ処方. *日コレ誌*. 投稿中
- 6) 山岸景子, 東原尚代, 稗田 牧ほか : 重症円錐角膜に角膜リングを施行された3症例に対するハードコンタクトレンズ処方. *日コレ誌*. 投稿中
- 7) Watson SL, Bunce C, Allan BD : Improved safety in contemporary LASIK. *Ophthalmology* **112** : 1375-1380, 2005
- 8) Katsanevaki VJ, Kalyvianaki MI, Kavrolaki DS et al : One-year clinical results after epi-LASIK for myopia. *Ophthalmology* **114** : 1111-1117, 2007
- 9) American Academy of Ophthalmology : Excimer laser photorefractive keratectomy (PRK) for myopia and astigmatism. *Ophthalmology* **106** : 422-437, 1999

- 
- 10) 稗田 牧：エキシマレーザー屈折矯正手術に伴う感染性角膜炎について教えてください。あたらしい眼科 **26**(臨増)：109-111, 2009
  - 11) 山岸景子, 東原尚代, 百武洋子ほか：屈折矯正手術後の角膜感染症により生じた高度角膜不正乱視へのガス透過性ハードコンタクトレンズ処方。日コレ誌 **55**：283-288, 2013
  - 12) 東原尚代：不正乱視に対するハードコンタクトレンズ(HCL) 処方—円錐角膜に対するHCL処方。日コレ誌 **53**：180-185, 2011
  - 13) 水谷 聡, 千 賀勤, 大堀 伸ほか：円錐角膜に対するコンタクトレンズ処方傾向—RoseK™を中心に—。日コレ誌 **46**：190-195, 2004
  - 14) Krumeich JH, Daniel J, Knull A : Live-epikeratophakia for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* **24** : 456-463, 1998
  - 15) 加藤浩晃, 稗田 牧。【円錐角膜の新たな治療】角膜内リング。眼科手術 **25** : 492-496, 2012
  - 16) 植田喜一, 山本達也, 小玉裕司ほか：新しい多段カーブハードコンタクトレンズの試作。日本コンタクトレンズ学会誌 **49** : 166-170, 2007
  - 17) 東浦律子, 前田直之, 中川智哉ほか：Laser in situ keratomileusis 術後のkeratectasiaに対するコンタクトレンズ処方。日コレ誌 **51** : 92-97, 2009
  - 18) 山岸景子, 東原尚代：角膜内リング挿入術後のハードコンタクトレンズ合わせ。あたらしい眼科 **32** : 屈折矯正セミナー。印刷中

## 2 診断

前田直之\*

## はじめに

円錐角膜は、多くの症例では角膜不正乱視による視力低下で受診する。そのため、まずハードコンタクトレンズを処方し、それで視力が不良、あるいは装用できない場合に全層角膜移植を施行するという方針で長い間治療が行われている<sup>1)2)</sup>。

このような状況であれば、視力が低下する程度まで進行した段階で円錐角膜と診断できれば問題はなく、その診断は比較的容易である。

ところが、屈折矯正手術では状況が異なり、円錐角膜の素因がある角膜にLASIKを施行すると角膜拡張症(keratectasia)を発症するため<sup>3)</sup>、円錐角膜はLASIKの禁忌疾患である。そのため、角膜屈折矯正手術希望者から円錐角膜の軽症例を除外する必要が生じ、角膜形状解析による診断が行われるようになった。

さらに最近では、角膜内リング、角膜クロスリンクングといった新しい治療法の登場や、円錐角膜の病態解明のための分子遺伝学的研究において、円錐角膜の早期診断や重症度の正確な評価に対する要求が高まっている。

その結果、円錐角膜の診断に対して、さまざまな装置を用いた研究が行われるようになっていく。

ここでは、円錐角膜の検査所見と診断の現況について簡単にまとめてみたい。

## 1 検査所見

## 1 前眼部の視診

円錐角膜が高度になると、肉眼で角膜が円錐状に突出していることがわかる。また、下方視した際に円錐状に突出した角膜に下眼瞼が圧迫されて、V字型となる。これがMunson's signである。また、ペンライトなどの光を耳側から角膜に照射すると、円錐の部分で光が屈折して鼻側に集光する。これはRizzuti illumination testと呼ばれている。

## 2 屈折検査

円錐角膜では、検影法でスキャンしている際の徹照にscissoring reflexが観察される。屈折は、近視性乱視のことが多いが、遠視性乱視や乱視のない症例もある。乱視の軸は、若年でも倒乱視や斜乱視のことがあり、また乱視の度数や軸に左右差があることが多い。

## 3 細隙灯顕微鏡検査

円錐角膜の診断の基本は、細隙灯顕微鏡所見である。軽症例では一見全く正常に見え、細隙灯顕微鏡での診断は困難である。進行例では、角膜中央付近の実質に菲薄化を認め、その部が前方に突出する。角膜頂点は典型例では中央やや下方にあり、その部の内皮面には微細で平行な多数の線条であるVogt striaeが観察できる。Vogt striaeは

\* Naoyuki MAEDA 大阪大学大学院医学系研究科視覚情報制御学寄附講座

Key words: 円錐角膜, 角膜形状解析, 波面収差解析, 細隙灯顕微鏡, OCT, 生体力学特性

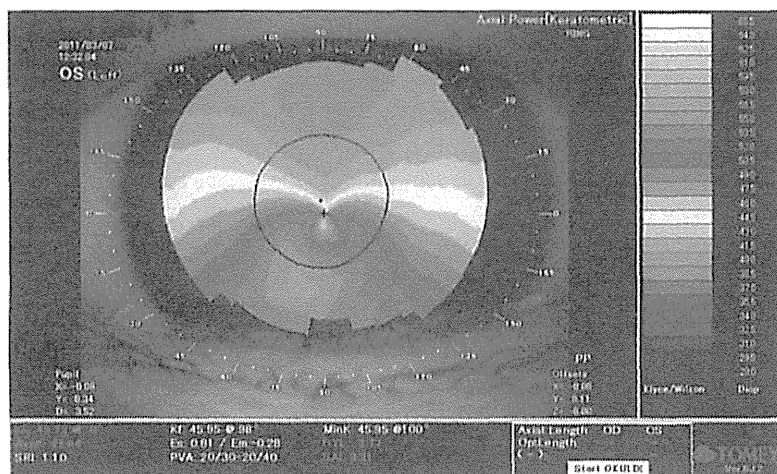


図1 Axial power map  
角膜中央から下方にかけて局所的急峻化を認める。

菲薄部にストレスによって生じる皺襞であるため、眼球を圧迫して内圧を上げると消失する。逆にハードコンタクトレンズを装用すると皺襞が増加、あるいは出現する。円錐のふもと付近の上皮下には、ヘモジデリンの沈着による Fleischer ring を認める。Fleischer ring は、青色照明で観察すると黒く抜けて見えて確認しやすい。

円錐角膜が進行し、Bowman 層に断裂が生じると網目状の実質浅層の癍痕となる。さらに進行すると頂点に円形の癍痕が生じる。急性角膜水腫 (acute corneal hydrops) は、デスメ膜が破裂し、前房水が実質内に侵入して浮腫が生じたものである。

また、円錐角膜の頂点に白色の隆起病変が存在することがあり、これは続発性角膜アミロイドーシスであることが多い。

#### 4 角膜形状解析

円錐角膜が進行すると、ケラトメーターで角膜屈折力が増大し、角膜乱視も増えることが多い。

カラーコードマップの定性的な解析では、角膜前面の axial power map の所見として特徴的なものは、局所的急峻化である。多くは中央やや下方に存在する<sup>4)5)</sup>。局所的急峻化の結果カラーコードマップは非対称パターンを呈し、周辺と中央の屈折力の差が増大する。また乱視の強主経線が曲線化する(図1)。角膜前後面の elevation

map での特徴的所見は、中央ないしやや下方の島状の突出である(図2)。次いで正乱視で認められる尾根状パターンが下方に偏位したものが多い。角膜厚分布では、中心よりやや偏心した部位に菲薄化が認められる(図2)。

円錐角膜の形状異常を最初に定量的に解析したのは、Rabinowitz らである。角膜上下の非対称性を I-S value、中央部の急峻化を central K として早期診断を試み<sup>4)</sup>、その後 KISA% というインデックスが開発された。

正確な診断のためには、感度と特異度の両者が良好である必要がある。しかし、感度を良くするために cut-off 値を下げると特異度が悪化し、逆に特異度を上げるために cut-off 値を上げると感度が低下する。この両者を向上させるために人工知能であるエキスパートシステムを用いた Klyce/Maeda index<sup>6)</sup> やニューラル・ネットワークを用いた Smolek/Klyce index<sup>7)</sup> 等が開発された(図3)。

上述のインデックスは、プラチド角膜形状解析装置による屈折力分布を解析するものであった。これに対して Tomidokoro らは、スリットスキャン角膜形状解析装置を用いて、角膜前後面の屈折力分布をフーリエ解析し、球面成分、乱視成分、非対称成分、高次不整成分に分離して解析した<sup>8)</sup>。さらに、Belin と Ambrósio は、角膜前後面の el-

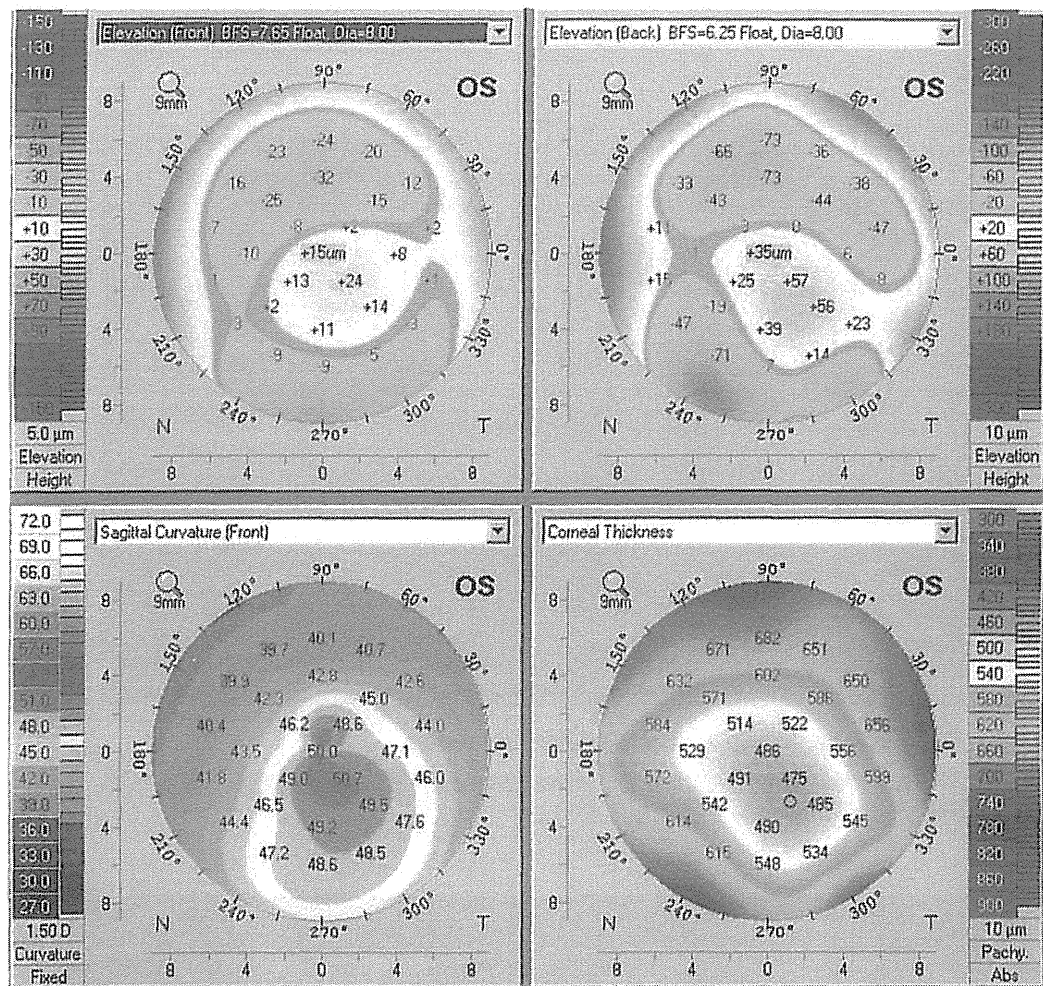


図2 Elevation map

左上：角膜前面 elevation map, 右上：角膜後面 elevation map

左下：axial power map, 右下：角膜厚分布

角膜前面, 角膜後面の elevation map では, 中央やや下方の前方突出を認め, 角膜厚分布では, その部が最も菲薄化している。

elevation map における cone の検出との中央から周辺への角膜厚の変化で定量的に円錐角膜を検出する Belin-Ambrósio display を開発した(図4)<sup>9)</sup>。

その後, 多くの円錐角膜検出プログラムが開発され, その精度が向上してきている<sup>10)</sup>。

### 5 波面収差解析

波面収差解析での最大の特徴は, コマ収差の増加である(図5)。特に下方の波面が遅い垂直コマ収差が特徴的である<sup>11)</sup>。これにより, 網膜像は下に尾を引くパターンを示す。球面収差は, 正常角膜とは逆で負となる。

また, 角膜後面は, 前面と逆パターンのコマ収差を呈し, これがハードコンタクトレンズ装用時

の残余コマ収差の原因となっている<sup>12)</sup>。

### 6 OCT

Reinstein らが, 高解像度の超音波で角膜上皮厚の分布を調査したところ, 円錐角膜では角膜上皮が頂点の部分で菲薄化しており, 実質の円錐状の突出を代償していることが示された<sup>13)</sup>。今ではこの現象を前眼部 OCT によって正確に示すことができる(図6)。また, 偏光 OCT を用いると, 複屈折の異常により位相のズレが増加するパターンが観察される<sup>14)</sup>。

### 7 生体力学特性

円錐角膜の角膜は正常より変形しやすいとされているが, Luce らは Ocular response analyzer



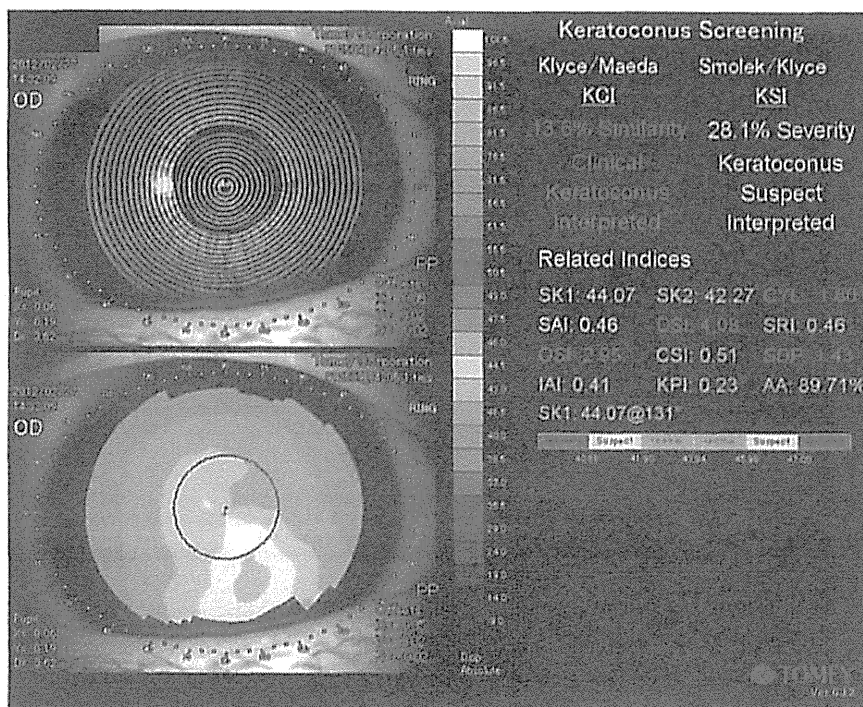


図3 Klyce/Maeda, Smolek/Klyce index

下方に軽度の急峻化を認める。Klyce/Maeda, Smolek/Klyce の両方とも円錐角膜のパターンを検出している。

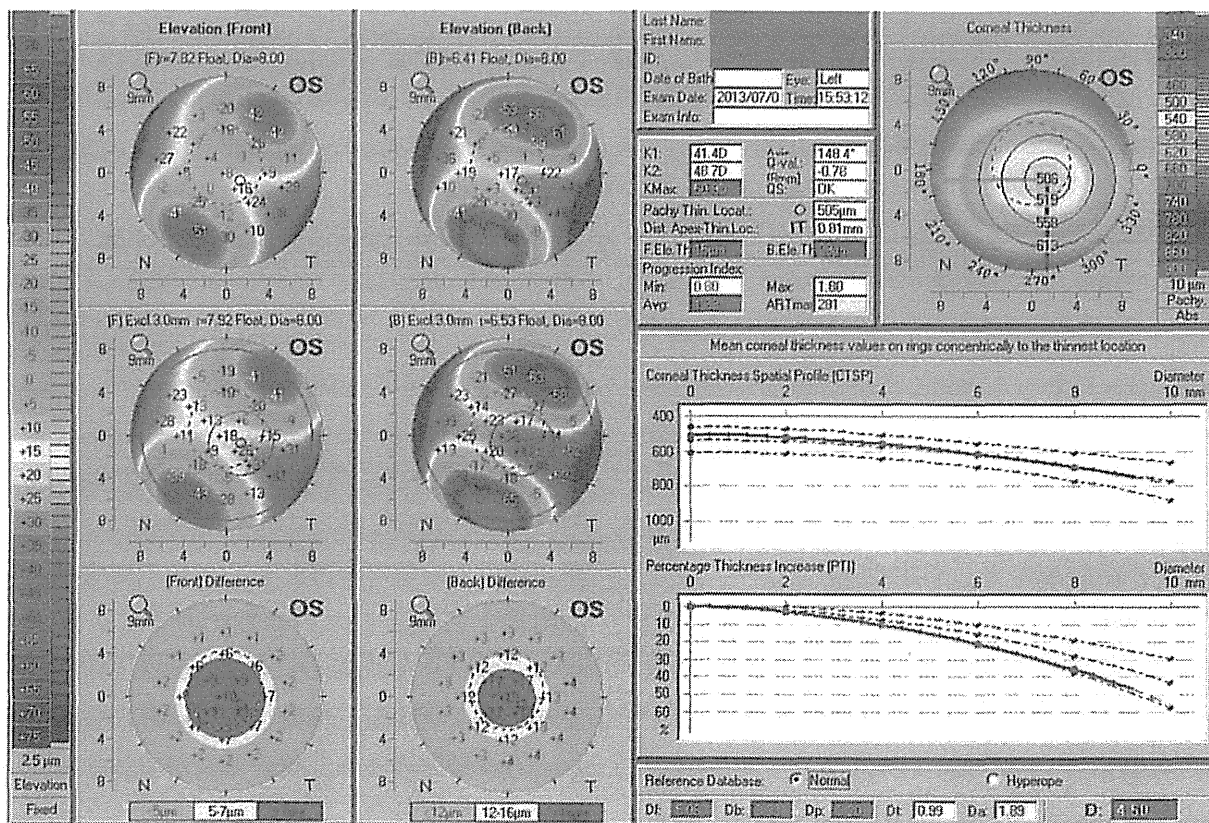


図4 Belin-Ambrósio display

左下と中央下のマップで角膜前面、角膜後面の中央が緑色一色ではなく赤色と黄色で示され、その部の突出がわかる。さらに、右下のDが赤色で示され、円錐角膜のパターンが検出されている。

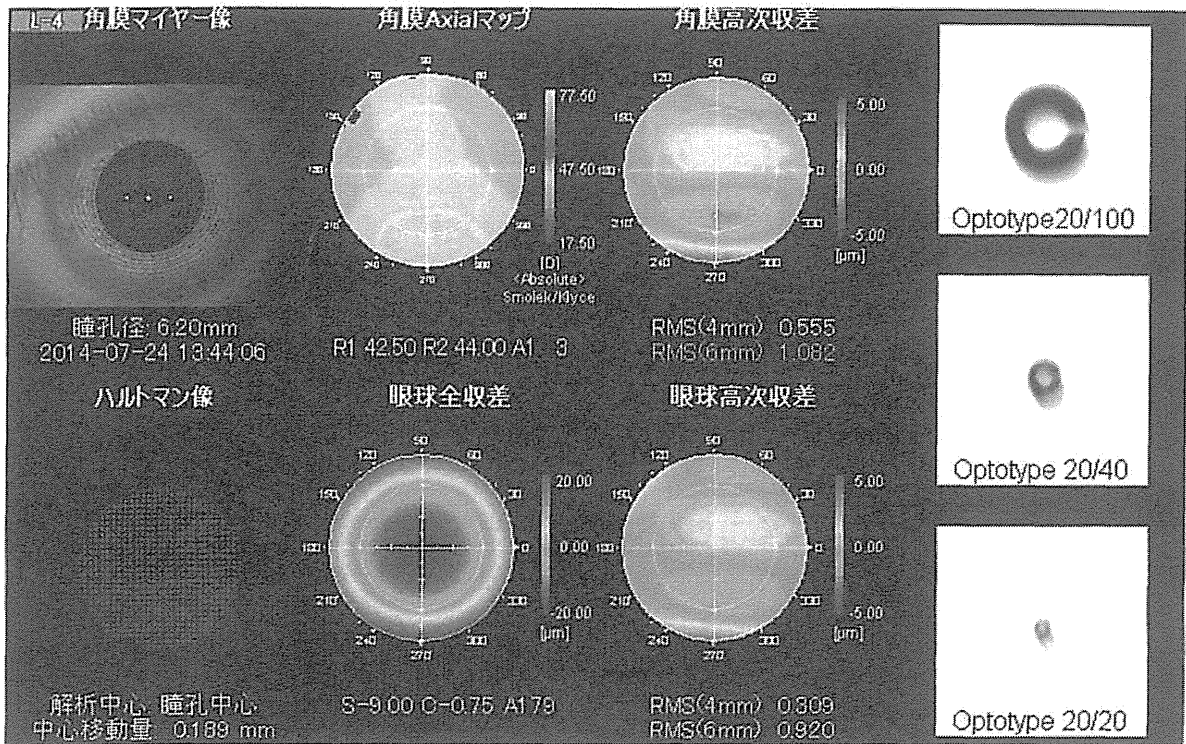


図5 波面収差マップ

左上：マイヤー像，中上：axial power map，右上：角膜高次収差

左下：ハルトマン像，中下：眼球全収差，右下：眼球高次収差

角膜高次収差と眼球高次収差で垂直のコマ収差を認め，ランドルト環の網膜像シミュレーションでは下に尾を引いて見える。

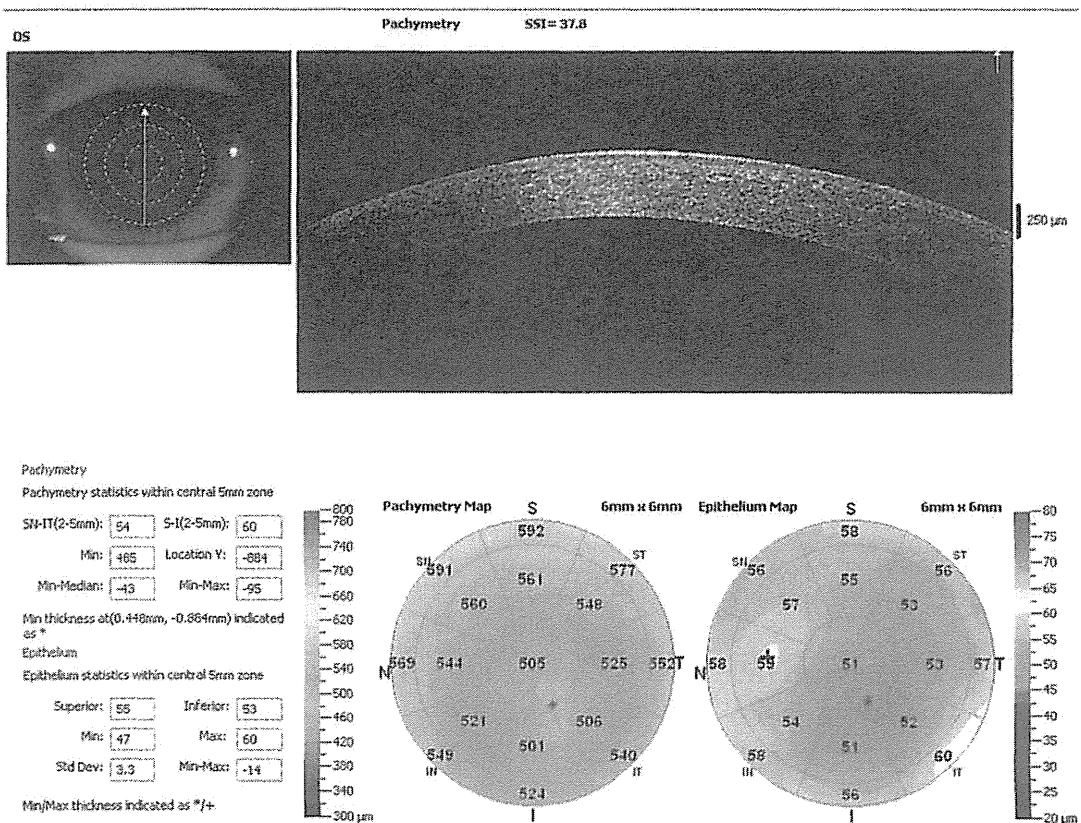


図6 円錐角膜のOCT所見

上：角膜断層像，左下：角膜厚分布，右下：角膜上皮厚分布

角膜厚が最も菲薄化している中央やや下方の角膜上皮が最も菲薄化している。