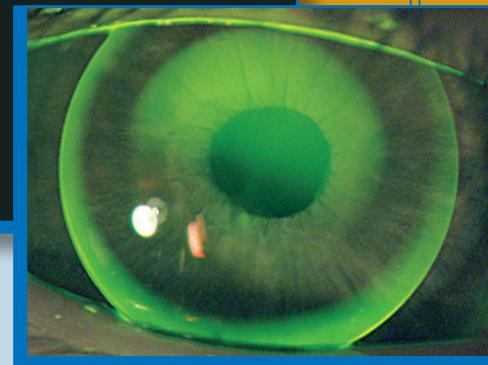
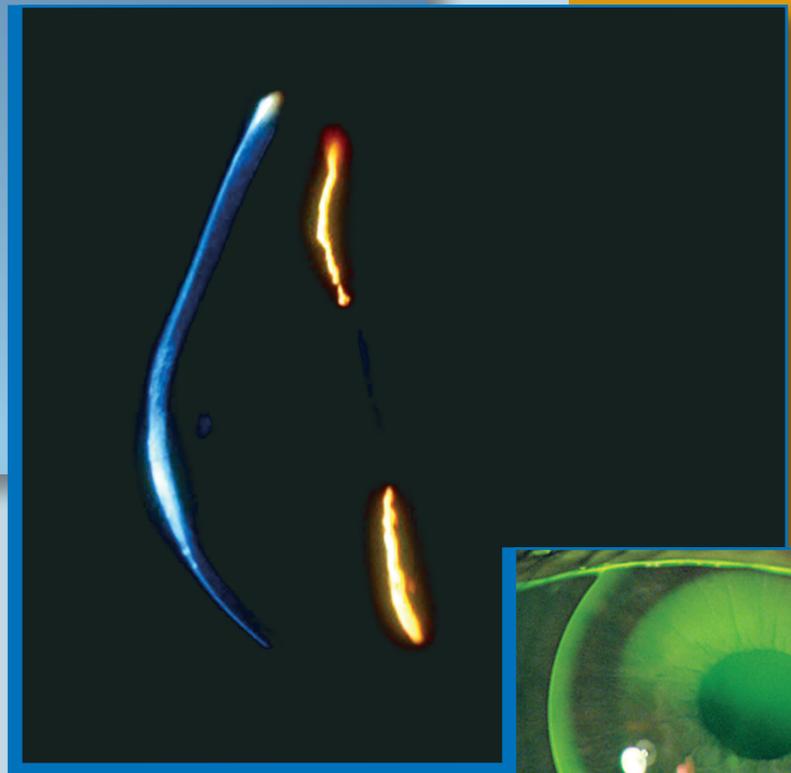
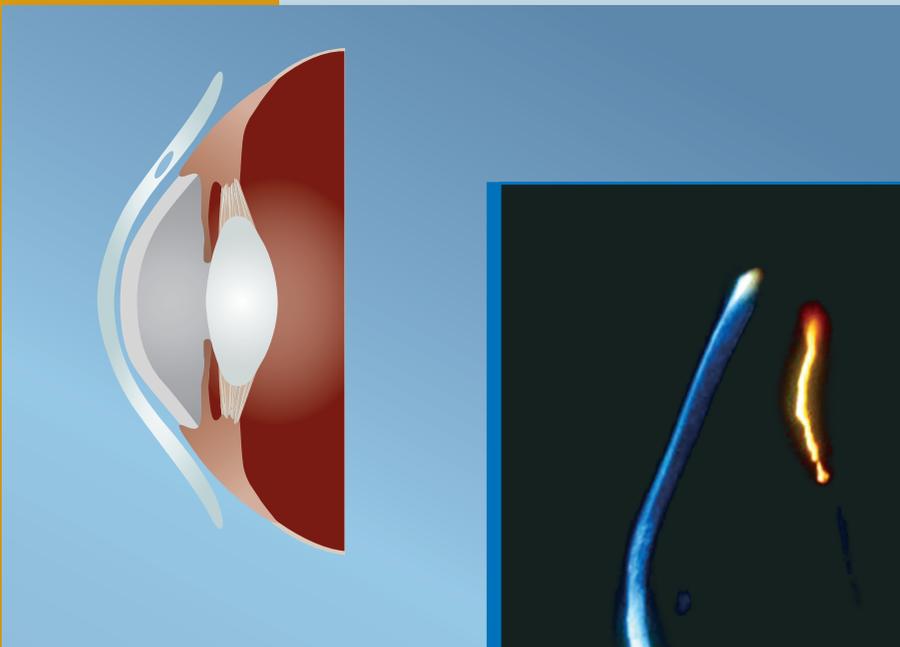


ハードコンタクトレンズ による円錐角膜の視力 矯正



Centre for Contact Lens Research
School of Optometry
University of Waterloo, Canada

はじめに

本書について

円錐角膜はガス透過性(GP)コンタクトレンズによって安全かつ効果的に視力矯正を行うことができます。角膜形状解析及び光干渉断層画像診断(OCT)が用いられるようになって様々な種類の円錐角膜の診断が簡便になっただけでなく、角膜形状に最も適したコンタクトレンズを選択することができるようになって円錐角膜の管理も容易になりました。レンズ設計および製造方法が進歩したことで処方レンズの選択は大きく広がりました。本書が、最新の角膜計測および標準カーブデザインに基づく適切なレンズデザインの選択によって円錐角膜患者の要求に応えられることを願っています。本書では円錐角膜の管理とフィッティングを簡便に行える方法を述べていきます。

コンタクトレンズ研究センター

カナダのWaterloo大学オプトメトリースクールのコンタクトレンズ研究センター(CCLR)は1988年に設立され、コンタクトレンズ装用の効果についての研究を行っています。教授陣、研究員、大学院生そして管理および技術スタッフから構成され、CCLRでの臨床試験および基礎研究は、コンタクトレンズおよびその関連産業との共同研究の成果から生みだされています。我々の活動は処方医教育の発展サポートにも向けられています。我々の活動の詳細については<http://cclr.uwaterloo.ca>をご参照ください。

謝辞

監修

Desmond Fonn, MOptom, FAAO
Director, Centre for Contact Lens Research
Professor, School of Optometry
University of Waterloo

プロジェクトマネージャー

Bonnie Boshart, BBA
Business Development Coordinator
Centre for Contact Lens Research

著者

Luigina Sorbara, OD, MSc, FAAO
Clinical Scientist, Centre for Contact Lens Research
Associate Professor, School of Optometry
University of Waterloo

編集

Craig Woods, PhD, FAAO
Research Manager, Centre for Contact Lens Research
Adjunct Associate Professor, School of Optometry
University of Waterloo
Alisa Sivak, MA
Communications Coordinator
Centre for Contact Lens Research

寄稿

Katrin Müller
Aalen diploma student, School of Optometry
University of Waterloo
Kristine Dalton
Contact Lens Resident and MSc student
School of Optometry, University of Waterloo
Jalaiah Varikooty
Clinical Scientist, Centre for Contact Lens Research
University of Waterloo
Jyotsna Maram
PhD student, School of Optometry
University of Waterloo
Adam Keech
MSc student, School of Optometry
University of Waterloo
Dr. David Miller (Figures 1, 11 and 65) および
Hilmar Bussacker (Figure 29)による画像をご提供い

ただき、International Association of Contact Lens
Educators (IACLE)に感謝いたします。

監修

Hans Bleshøy, BSc, PhD, MCOptom, FAAO
Danish Contact Lens Consultants
Skive, Denmark
Timothy B. Edrington, OD, MS
Professor, Southern California College of Optometry
Fullerton, CA, USA
Sergi Herrero
Diploma in Optics and Optometry
Barcelona, Spain
Craig W. Norman, FCLSA
South Bend Clinic
South Bend, Indiana, USA
Philippe Seira, Dipl. Augenoptiker
Lecturer at the University of Applied Sciences
Northwestern Switzerland
Olten, Switzerland
José L. Garrido Tundidor
Master of Optometry and Vision Sciences
Diploma in Optics and Optometry
Barcelona, Spain
Richard Wu BSc, OD, PhD, FIOS, FIACLE
Taipei Professional Optometry Center
Taiwan
Osbert Chan, PhD
Hong Kong

デザイン

Kris Urro
Senior Graphic Designer
Boston Products Group
Bausch & Lomb Incorporated

日本語監修

Dr. Masao Matsubara, M.D. D.M.Sc.
Professor
Department of Ophthalmology
Tokyo Women's Medical University School of
Medicine
Medical Center East
東京女子医科大学 東医療センター
眼科教授 松原 正男

目次

1. 円錐角膜について	1
円錐角膜の疫学.....	1
関連条件.....	1
円錐角膜の視力矯正方法.....	1
コンタクトレンズ.....	1
眼鏡.....	2
2. 円錐角膜の分類	3
角膜形状解析.....	3
円錐角膜の種類.....	4
疾患(角膜厚)の進行.....	4
3. 診断および兆候	6
病歴および症状.....	6
細隙灯顕微鏡検査.....	6
眼底検査および検影法.....	7
形状解析、角膜曲率測定および角膜厚測定.....	7
屈折および視力.....	8
鑑別診断.....	8
4. コンタクトレンズによる視力矯正方法	9
ガス透過性(GP)角膜コンタクトレンズ.....	9
角膜スクレラルおよびセミスクレラルGPコンタクトレンズ.....	10
ミニスクレラルおよびスクレラルGPコンタクトレンズ.....	11
ピギーバックデザイン.....	11
ソフトコンタクトレンズ.....	12
5. レンズデザイン	13
角膜コンタクトレンズ.....	13
球面多段カーブレンズ.....	13
中心部球面および周辺部球面.....	13
中心部球面および周辺部非球面.....	14
非球面コンタクトレンズ.....	14
セミおよびミニスクレラルレンズ.....	14
ピギーバックレンズ.....	14
6. レンズ処方	15
適切なレンズデザインの選択.....	15
一般的考察.....	15
BOZRの選択.....	15
パワーの考察.....	17

処方手順：適切なBOZDおよびTDの選択	17
小直径レンズ(8.5 to 9.3mm)の処方	18
中直径レンズ(9.4 to 9.9mm)の処方	18
大きなTDの角膜レンズ(10.0 to 12.8mm) の処方	
および角膜スクレラル(12.9 to 13.5mm)レンズの処方	19
セミスクレラルレンズ(13.6 to 14.9mm TD) の処方	
およびミニスクレラルレンズ(15.0 to 18.0mm TD)の処方	20
レンズ周辺部のデザイン	22
アクシャルエッジリフト(AEL)の決定	22
トーリックあるいは不均一周辺部デザイン	23
適切なフィッティングの評価	23
フルオレスセイン染色パターン	23
3ポイントタッチ(分離支持)	24
頂点タッチ	24
頂点クリアランス	24
理想的なアクシャルエッジクリアランス	25
最小エッジクリアランス	25
過剰なエッジクリアランス	25
レンズのセンタリングおよび動き	26
追加矯正	26
形状解析マップからのフルオレスセインシミュレーション	26

7. 定期検査および管理戦略27

定期検査手順と日程	27
レンズの変更を必要とする合併症	28
レンズデザイン変更	29
BOZRの変更	29
BOZDの変更	29
TDの変更	29
AELの変更	29
セクター別AELの変更	29
中心厚の変更	30
レンズパワーの変更	30
異なったレンズおよび/あるいはデザインの再処方	30
球面から非球面BOZD	30
球面から非球面周辺部デザイン	30
固定BOZDから変動BOZD	30
角膜レンズからセミスクレラルデザイン	31

8. 合併症32

角膜ステイニング	32
ケア溶液の毒性からのステイニング	32
3時-9時ステイニング	32

擦過あるいは異物による斑点状あるいは線状ステイニング	32
頂点ステイニング	32
ディンプルベール	33
視力	33
レンズの変位	34
角膜圧痕	34
9. 参考文献	35
補足 A: 病因および遺伝	40
補足 B: 円錐角膜の外科的矯正	42
全層角膜移植	42
表層角膜移植	42
深層表層状角膜移植	42
Disparate thickness表層角膜移植	42
Intra-表層角膜移植	42
INTACS®	42
架橋剤	43
補足C: Orbscan IIを使用した円錐角膜の診断	44
補足 D: セミおよびミニスクレラルレンズの処方	45
中心サジタルデプス処方	45
中間周辺部あるいは輪部処方	45
強膜フィッティングゾーン	46
補足 E: 処方例	47
処方例: センターコーンあるいはニップルコーン(初期段階)	47
処方例: オーバルコーン(進行段階)	51
補足 F: ケラトメーター測定値の換算表	56
補足 G: 視力換算表	
遠方視力換算表	57

1. 円錐角膜について

円錐角膜の疫学

円錐角膜は、進行性で、典型的には非対称性、非炎症性の軸方向の角膜拡張症(Figure1)です。症例の96%で両眼性ですが非対称的に進行し、典型的な場合最初の診断から約5年遅れてもう一方の眼に症状が現れます。症状の進行は極めて様々で、一般的に思春期から30代半ばにかけて始まり、40あるいは50歳頃までの10-15年の間進行します。円錐角膜が発症してしばらくの間は、進行の早い一過性の時期を挟みつつ比較的安定あるいは非常に進行が遅い期間が続きます。進行が終わるときの状態もさまざまです。安定した時点での疾患の重症度は、眼鏡あるいはコン

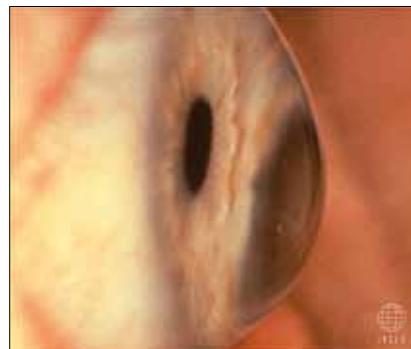


Figure 1. 円錐角膜の側面像

タクトレンズで矯正可能な不正乱視を伴う穏やかなものから、重度の菲薄化、角膜移植あるいは他の外科的方法の処置が必要とされる突出および角膜瘢痕まで様々です。発症は角膜の球面化または正乱視として始まり、進行し始めると最初は中央角膜実質の菲薄化、角膜カーブの急峻化による頂点突出そして様々な度合いの角膜瘢痕と特徴付けられます。菲薄化した頂点は下方に変位していき、不正乱視を生じるようになります。その結果、視力の質に軽度から重度の障害をもたらすのが、本疾患の顕著な特徴です。

発生率は10万人中50から230と様々で、おおよそ2,000人に1人程度といえます。円錐角膜の有病率は、高いもので人口の0.6%、低いもので0.05%と報告されています。補足 Aには、円錐角膜の疫学および遺伝学的調査を示しました。

関連症状

円錐角膜は一般的には単独性疾患ですが、円錐角膜を合併した疾患の報告には、ダウン症候群⁽¹⁾、エーラーズダンロス症候群、骨形成不全症、僧帽弁逸脱症、アトピー性疾患など多くあります。コンタクトレンズ装用あるいは眼をこするといった一種の眼外傷から発症することもあるかもしれません。

円錐角膜の視力矯正方法



Figure 2. 円錐角膜上のコンタクトレンズ

コンタクトレンズ

ほとんど全ての円錐角膜症例では、やがて最適な視力を得るために(Figure 2)コンタクトレンズが必要になり、最終的には約10から26%が手術を必要とします。円錐角膜眼におけるコンタクトレンズ装用は、角膜瘢痕を導く可能性があります。この角膜瘢痕についてはコンタクトレンズ装用の有無にかかわらず起きるといった研究報告もあります。この疾患の予後は予測不可能で、そして症状の進行は様々です。一年に一回あるい

(1) Trisomy 21は円錐角膜の発症率を50から300倍増加させます。

はもっと頻回の検査を指示することになります。本疾患で失明することはなく、通常は症状進行のほとんどの期間を通じて車を運転し読書することができますが、生活の質(QOL)の点では妥協しなければならぬかもしれません。

ほとんどの円錐角膜患者(74%の眼)では、少なくとも片眼は非手術的に対応することが可能です。残り(26%)は角膜移植が施されます。

Crewsら(1994)は、円錐角膜患者の多くは(53%)コンタクトレンズを用いないと最適に矯正されないが、残りの中で21%は症状が軽度のため少なくとも一眼では眼鏡あるいは全く矯正しないで済むとしています。

眼鏡

円錐角膜が進行するにつれ、角膜は拡張症を呈し、角膜の膨張により発生するひずみのために角膜不正乱視が増加します。この不正乱視は、非直交性(複数の焦点を持つ)で、他覚自覚ともに適切な屈折値を得ることを困難にしています。それ故に、特に進行した段階では眼鏡処方の効果的ではなく、適切な光学的結果をもたらしません。それに加え、円錐角膜は両眼性疾患ですが、片眼の進行がもう一方の眼より早い傾向があるために、不同視や混合不同視を生じ、その結果として眼鏡像の大きさに耐えることができなくなります。症状が進行すると眼鏡を処方することがいっそう困難になりコンタクトレンズに頼らざるを得なくなります。他方、コンタクトレンズを我慢できないときに装用できるように眼鏡が処方されておかれるべきです。老視の場合には、コンタクトレンズの上から用いられる読書用眼鏡を処方しなければなりません。

円錐角膜の外科手術的矯正法を、補足 B で考察します。

2. 円錐角膜の分類

角膜形状解析

円錐角膜の診断および管理において最も重要な手段の一つは、ビデオケラトグラフィー(VKE)です。円錐角膜の診断能力が十分でなかった共通の原因は、カーブをinstantaneous(tangential あるいはlocal)スケールで表すのではなく axial(sagittal) スケールを用いていたことでした。タンジェンシャルスケールが角膜の物理的な形状を評価するのに対し、サジタルスケールは、特に角膜の視覚光学性能を観察します。ビデオケラトグラフィーにおいてアクシャル曲率の使用は、VKE軸を参照するために、角膜周辺部に偏在する頂点のパワーおよび見かけの位置を誤らせませす。Figure 3a および3bの図は、アクシャルマップとタンジェンシャルマップとの違いを示しています。

アクシャル(サジタル)マップ	タンジェンシャル(インスタントニアス)マップ
視力における光学的効果の領域を示すが、コーンの実際のサイズおよび形状ではない。	コーンがどこに位置しているかを示し、臨床的に観察される形状に整合する。
角膜パワーを平均し、スティーブなパワーを過小評価し、そしてフラットな周辺部を過大評価する	VKE軸スに關係なく角膜曲率を再計算し、スティーブな領域をスティーブに見せ、フラットな領域をフラットに見せる

このゆがみは円錐角膜ではより誇張されます。すなわちマップの中心外側のよりスティーブな領域は曲率が過小評価され、そして周辺部のフラットな領域は過大評価されます。タンジェンシャルマップの使用は、VKE軸スよりむしろ隣あったそれぞれのリングを参照しアクシャルの測定値を再計算するため、コーンのサイズおよび位置についてより正確な代表値をえるための助けとなります。エレベーションマップの使用は、コーンの位置および存在を明瞭に示しますが、カーブの曲率なしではコンタクトレンズのフィッティングにおけるほど有用ではありません。Orbscan IIトポグラファーは、カーブのエレベーションおよび曲率の両方を測定できます。円錐角膜の診断および管理のためのOrbscan IIトポグラファーの使用については、補足 Cで議論します。

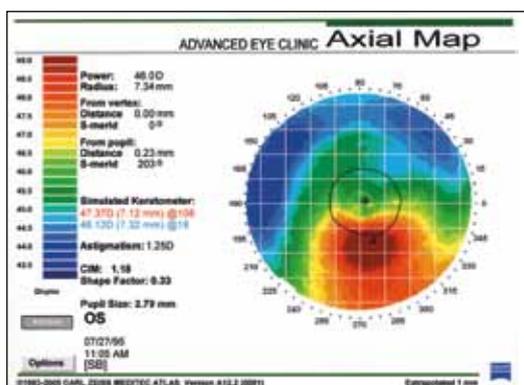


Figure 3a. アクシャルカーバチャーマップ

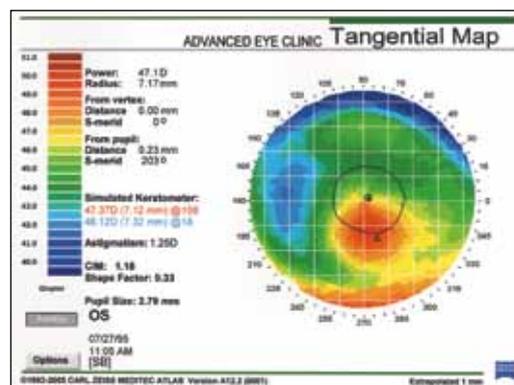


Figure 3b. タンジェンシャルカーバチャーマップ

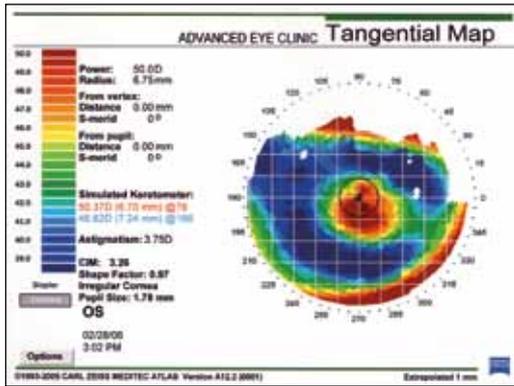


Figure 4a. センターコーンのトポグラフィーマップ

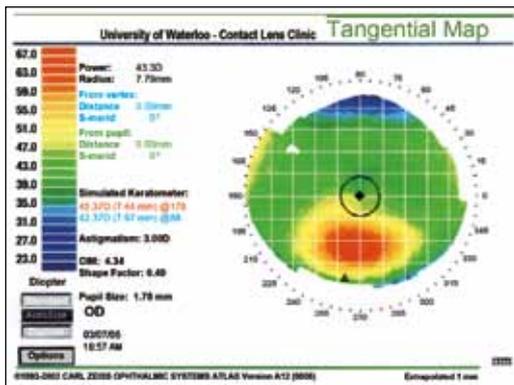


Figure 5b. 楕円コーンのトポグラフィーマップ

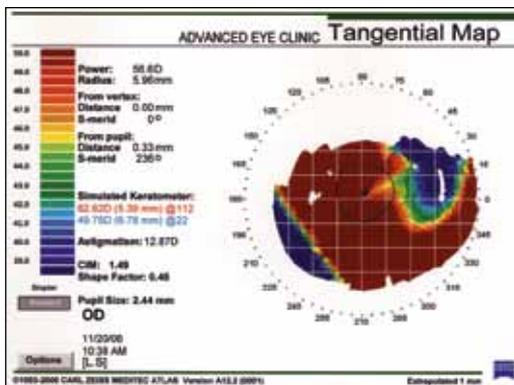


Figure 6c. 球形コーンのトポグラフィーマップ

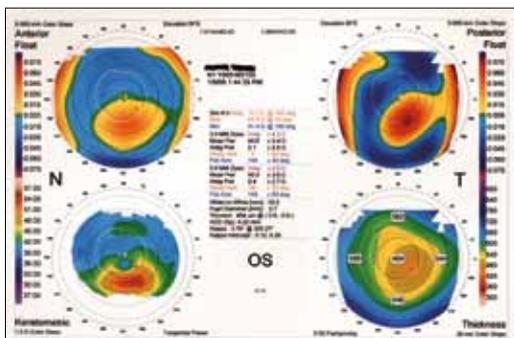


Figure 7a. ペルーシド角膜変性症(PMD)のトポグラフィーマップ(倒乱視に注意してください。)

円錐角膜の種類

角膜トポグラフィーは、円錐角膜のコーンの形状あるいはタイプおよび重症度を確認するのに役に立ちます。円錐角膜は角膜コーンのカーブの重症度に基づいて分類されます。すなわち、角膜トポグラフィーによる中心部の角膜曲率測定での、平均シミュレーション値に基づきます。重症度の評価法は、通常次の通りです。

もし、この平均値が50.00D(6.75mm)以下の場合、コーンは初期段階であると考えられます。50.00から56.00D(6.75から6.03mm)である場合、そのコーンは進行した状態であり、56.00D(6.03mm)を超えるならコーンは重症な状態と考えられます。

二番目に、コーンの位置あるいは形状が一般に評価されます。たとえば、ニップルあるいは中心タイプ、楕円、下耳側あるいは鼻側タイプそして球形あるいは全体タイプ(Figures 4a, 5b および 6c)のようになります。円錐角膜として他の症状あるいはバリエーションと言えるものは、ペルーシド角膜変性症(PMD)です。楕円タイプの円錐角膜よりももっと輪部に近い下方で菲薄化およびコーンが発生(Figure 7a)します。そのためにこの症状に非常に特徴的な倒乱視を生じます。しばしば、このときのトポグラフィーマップは「バタフライ」あるいは「キスをする鳩」として知られています。

疾患の進行(角膜厚)

円錐角膜が進行すると角膜中心部の菲薄化が起こります。菲薄化は主に角膜実質に起こりますが、しばしば角膜上皮も伴って円錐状の形を生じます。局所的な角膜厚の測定法には、次のようなものがあります。

- Orbscan II(Bausch & Lomb, NY)のようなスリットスキャンテクニック、Figure 8a
- Pentacam(Oculus, ドイツ)のような、回転型シャインブルーフォトグラフィー、Figure 8b
- Visante OCT (Zeiss Meditec, CA)のような光学干渉トポグラフィー、Figure 8c
- Artemis instrument(UltraLink, LLC)のような超音波角膜厚測定、Figure 8d

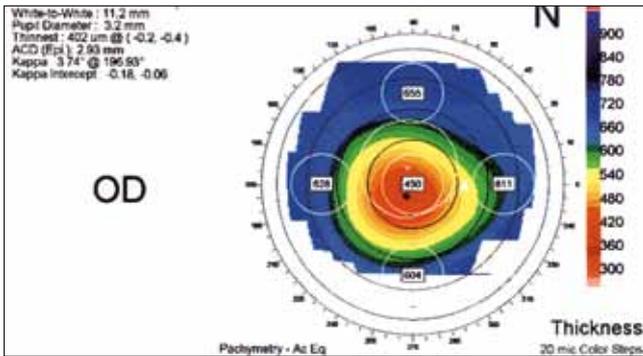


Figure 8a. Orbscan IIを使用した角膜厚測定マップ

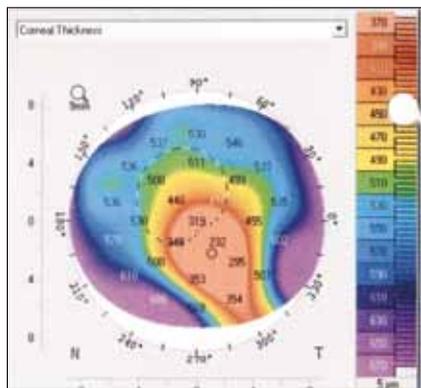


Figure 8b. ペンタカムを使用した角膜厚測定マップ

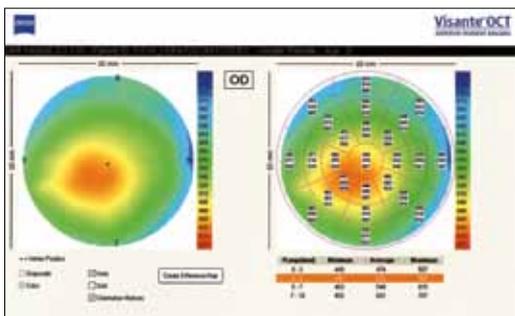


Figure 8c. Visante OCTを使用した角膜厚測定マップ

OCTのような新しい技術を使っでの研究では、健常眼と円錐角膜眼とでは89から109 μm の角膜厚の違いがあることを示しています。円錐角膜患者でもコーン頂点での角膜厚が通常範囲内のこともありえますが、ある研究では、最小の中心厚の平均値は、健常眼の $540 \pm 30 \mu\text{m}$ に対し、円錐角膜眼では $443 \pm 64 \mu\text{m}$ でした。

これらの比較的新しい装置による角膜形状観察では、厚みの最も薄い部分を含むいかなる経線上のどのポイントでも角膜の厚さを確認できます。

トポグラフィーでの角膜厚測定では、同じ部位および場所を経時的に測定できるのでコーンの状態の進行を注意深く観察することができます。新しいスペクトルドメインOCTでは、角膜上皮および全角膜厚がより正確に測定できるように、測定像の解像度を増幅することができます。角膜厚に基づく円錐角膜の重症度の分類には具体的な意味はありませんが、健常眼と円錐角膜眼の間には角膜厚の有意な違いがあります。(全てのタイプおよび重症度レベルを一緒に検討しての結果)

角膜厚が300 μm 以下に達すると角膜外科医を紹介し評価してもらうことが一般的です。



Figure 8d. スペクトルドメインOCT

3. 診断および兆候

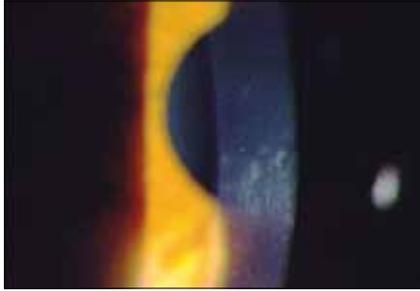


Figure 9. フォークト 線条

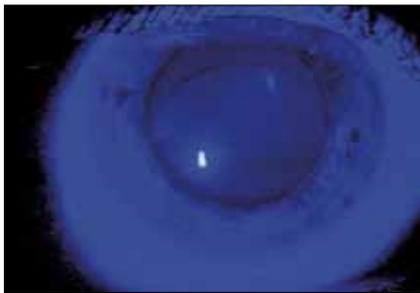


Figure 10. フライシャー 輪



Figure 11. 角膜瘢痕

病歴および症状

円錐角膜が初めて診断されるのは、おおくは患者が青年期あるいは30代半ばまでです。症状には、特に低照度において(たとえば、運転中あるいは暗い部屋でテレビを見ている間)、切れが悪く鮮明でない見え方が含まれます。

以下は、円錐角膜の診断につながる症状および兆候のリストです

- 遠方および近方とでの眼鏡矯正下での高コントラスト視力および低コントラスト視力の中等度から顕著な低下
- 思春期以降ずっと続く視力変化(30代半ばから40代まで、しかし晩期発生の可能性もあります。)
- 単眼性複視およびゴースト像
- コントラスト感度異常
- 眼刺激およびドライアイ症状
- 眼を擦る習慣がある
- アトピー性疾患の病歴
- 円錐角膜に関連する全身症状の病歴

細隙灯顕微鏡検査

以下は、兆候を見分ける細隙灯顕微鏡検査所見のリストです。

- 顕著な角膜神経
- フォークト線条、指の圧力で一時的に消失する角膜実質後部あるいはデスメ膜のストレスライン(Figure 9)
- 角膜が菲薄化する領域と影響を受けていない角膜の厚い部分との結合部に発生するフライシャー輪(アイアンリング)(Figure 10)
- 頂点での角膜上皮あるいは上皮下角膜瘢痕(Figure 11)
- Munson 徴候、下方を凝視した際の下眼瞼の下方偏倚(Figure 12)
- 角膜急性水腫(晩期)、角膜瘢痕を残す急性角膜上皮浮腫を生じる角膜内皮機能の不調(Figure 13)

眼底検査および検影法

以下の兆候は、症状の進行の早い段階で起こり、早期診断が可能です。

- 瞳孔領内の赤色反射によるコーンの視覚化(Charleaux's oil droplet sign)
- 検影反射の乱れあるいはシザリング
- 最初は、乱視矯正のシリンダー軸の変化、続いて乱視量の変化
- 円錐角膜による近視および不正乱視(通常、直乱視あるいは斜乱視)
- PMDを伴う遠視および倒乱視性不正乱視に向かう傾向

形状解析、角膜曲率測定および角膜厚測定

ビデオケラトスコープ(VKE)を使用するコーンのタイプおよびサイズの確認

ニップルコーンあるいはセンターコーンは、小さな中心近傍の異常で、通常5mm以下の直径です。このタイプのコーンは進行性で、Figure 14a および 14bのVKEのマップにみられるように、よりスティープで小さくなります。

楕円状(水平軸)コーンは通常5 - 6mmの径で、頂点中心が視軸から下方、そして普通は耳側象限に偏倚しています。コーンは進行するので、曲率がスティープになるのに伴い中心からの偏倚はより大きくなり、直径も大きくなります。(Figure 15a, 15b and 15c)

球状コーンは、三つのタイプの中で最も大きなものです。しばしば、角膜表面のほぼ3/4に達します。(Figure 16)



Figure 12. Munson兆候



Figure 13. 急性角膜水腫

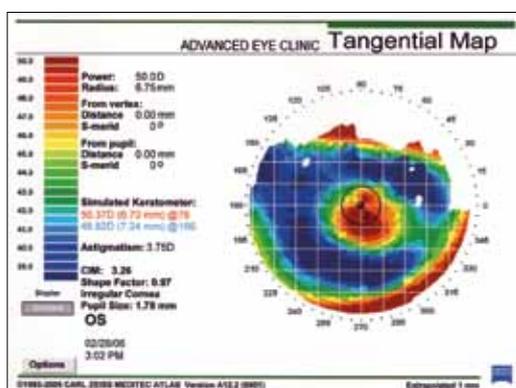


Figure 14a. 早期のセンターコーン、トポグラフィーマップ

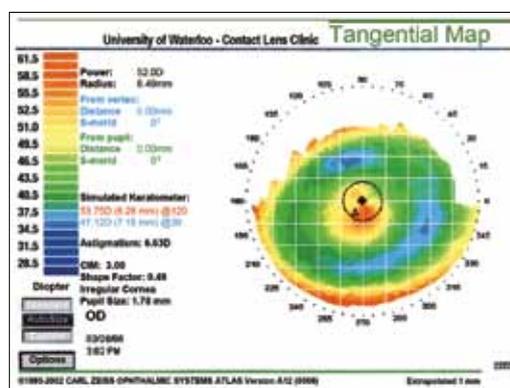


Figure 14b. 後期のセンターコーン、トポグラフィーマップ

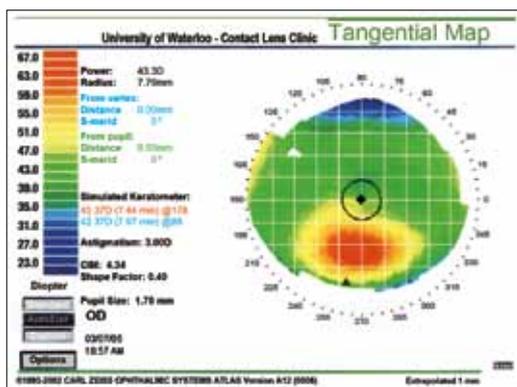


Figure 15a. 初期の楕円状コーン、角膜形状解析マップ

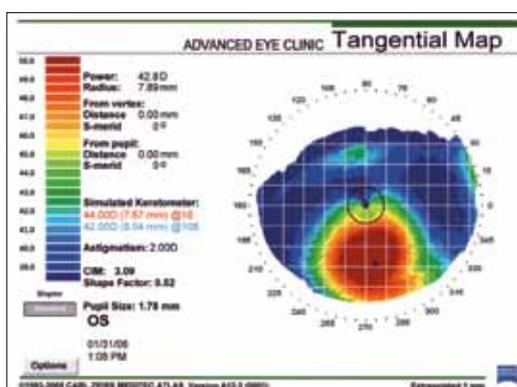


Figure 15b. 中等度の楕円状コーン、角膜形状解析マップ

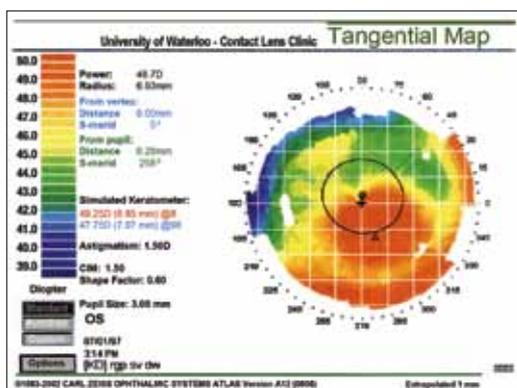


Figure 15c. 重度の楕円状コーン、角膜形状解析マップ

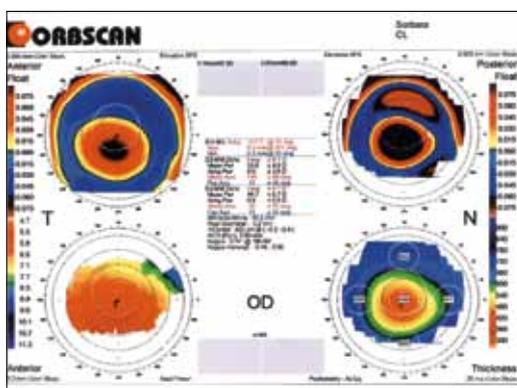


Figure 16. 球状コーン、角膜形状解析マップ

角膜のステープ化の進行

センターコーンあるいはニップルコーンが進行するのに伴い、その頂点および中心は菲薄化し、より不規則な角膜曲率マイヤーおよび非直交性の直乱視あるいは斜乱視を誘発します。楕円状コーンの進行に伴い、その中心近傍が菲薄化し角膜の頂点は下方耳側にたわむ傾向があり、不規則な角膜曲率マイヤー、非対称性の角膜形状パターンおよび直交しない直乱視あるいは斜乱視を誘発します。両者とも、左右眼で非対称性の形状を有します。(Figure 15a, 15b and 15c)。ペルーシド角膜変性(PMD)の場合、コーンは下方で薄くなり、下方輪部に接近したわみ、非直交性の倒乱視を誘発します(Figure 7a)。

屈折および視力

センターコーンおよび楕円状コーンでは、進行に伴って近視および乱視が、-1.00Dから-10.00D以上へ(球面および円柱度)増加し、受容可能な眼鏡矯正視力を得る可能性は減少します。同様に、ペルーシド角膜変性(PMD)の起こっている場合、下方の過剰なステープ化のために20.00Dに達する倒乱視の増加が起ることが報告されています。瞳孔領上部での過剰な平坦化によって患者は遠視化します。また、受容可能な低コントラストおよび高コントラスト眼鏡視力は、症状の進行によって一般的には0.8から0.25へあるいはそれ以下へ低下します。補足Gの換算表:遠方視力換算表を参照下さい。

鑑別診断

予後および外科的または非外科的治療の適応等に関して、患者へ適切に対応するためにはコーンのタイプおよび状態(たとえば、中央部か、楕円円錐角膜か、あるいはペルーシド角膜変性(PMD)か)を分類することが非常に重要です。コンタクトレンズのフィッティングにおいて、レンズをより効果的(レンズパラメーターおよびデザインを含め)に処方することができるように、コーンのタイプおよびサイズを確認することは必須です。

4. コンタクトレンズによる視力矯正方法

酸素透過性角膜コンタクトレンズ(GP)

レンズ直径(TD)が8.0mmから12.8mmの間のレンズが、角膜レンズと考えられています。コーンの直径が大きくなるのに従って、後面光学ゾーン直径(BOZD)、ベースカーブ曲率およびレンズ直径もまた大きくすべきです。これによって、レンズ上の矢印とトポグラフィーマップ上の矢印が示すように、コーンのサグと後面光学ゾーンのサグがよりよく一致します。角膜トポグラフィーマップのグリッド線(格子線)を利用してコーンのサイズ、位置および面積の測定を行うことによってこれらの様々な因子の適切な一致を得ることができます。レンズの供給業者と良く連絡を取ることがはレンズを適切にフィッティングする上で非常に重要です。この時、後面光学ゾーンの直径値とその光学直径がコンタクトレンズの後面光学ゾーン曲率に伴い変化するのか(変動BOZD)あるいは一定(固定BOZD)でレンズの直径が変わる時だけに変わるのであるかを理解する必要があります (Figure 17 から 25)。13ページ、Table 1 および 2を参照してください。

もし、光学ゾーンがコーンの直径に比べ大きすぎると、コンタクトレンズのサグがコーンより大きくなり、コーン周辺のクリアランスの間隙が大きくなるため、涙液フィルムに気泡の発生を導くことになるでしょう。このような状態は、視機能に影響を及ぼすことがあります。もしレンズの光学ゾーンが小さすぎると、コンタクトレンズのサグがコーンのサグより小さくなり、コーン上でレンズのベアリングが起きます。その結果レンズは角膜上で不安定となりセンタリング不良を生じます (Figure 21)。BOZDおよび

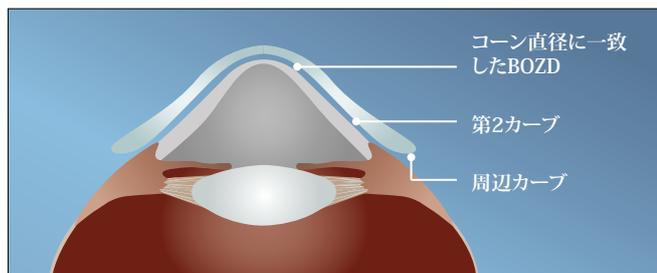


Figure 21. コーンの直径に一致したBOZDの図

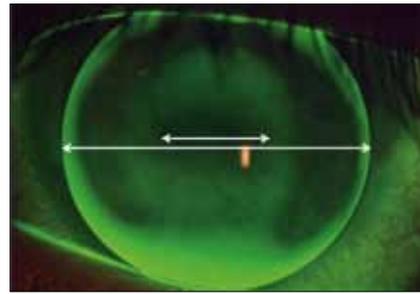


Figure 17. センターコーン (変動BOZD)

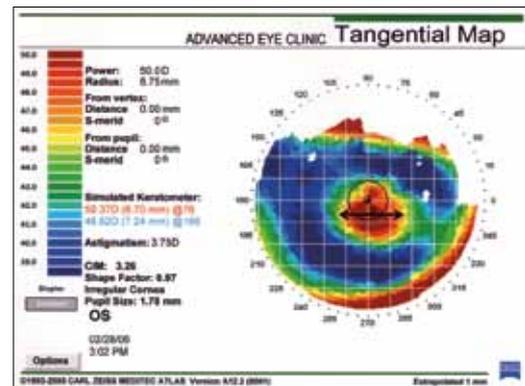


Figure 18. センターコーンのトポグラフィーマップ

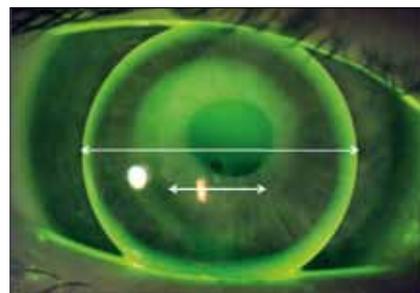


Figure 19. 初期の楕円コーン(固定BOZD)

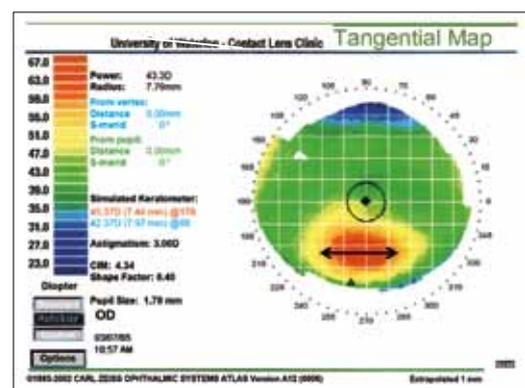


Figure 20. 初期の楕円コーン

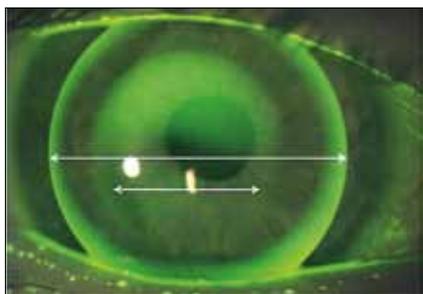


Figure 22. 中等度の楕円コーン(固定BOZR)

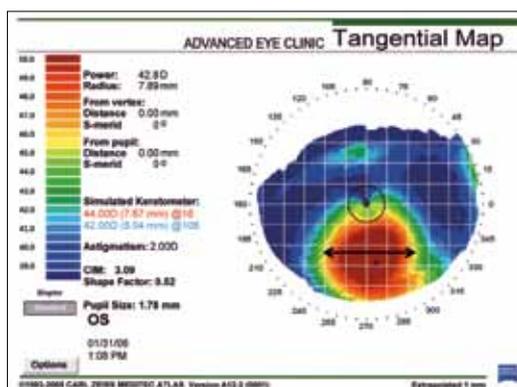


Figure 23. 中等度の楕円コーンのトポグラフィ



Figure 24. 重度の楕円コーン(固定BOZR)

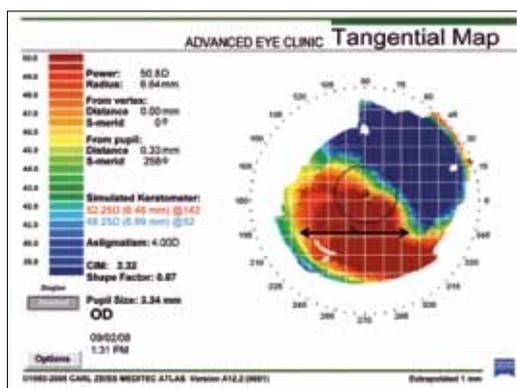


Figure 25. 重度の楕円コーンのトポグラフィ

TDが計算されると、通常のレンズデザインで、後面光学ゾーン曲率(BOZR)が緩やかに三点接触あるいはコーン上での分散支持となることを確かめます(Figure 17 to 25)。ページ13の表を参照してください。

レンズの周辺ゾーンは、角膜周辺部よりフラットにする必要があります。すなわち、平均的な離心率(0.5から0.6)の平均的な眼のために設計されたレンズのエッジリフトより、ずっと高いアークシャルエッジリフトを持たなければなりません。円錐角膜眼では離心率は0.65から、進行した場合には1.0以上にもなることがあります。

角膜スクレラルおよびセミスクレラルGPコンタクトレンズ

高酸素透過性GPレンズ材料の導入に伴い、医師はより安心して直径の大きなレンズを処方できるようになりました。直径が12.9mmから13.5mmの間のレンズは、角膜スクレラルレンズと呼ばれ、13.6mmから14.9mmのレンズをセミスクレラルレンズと呼んでいます。

レンズの3つの部分をフィッティングの際に考慮し、それぞれ別個に調整しなければなりません。

- 角膜部分(BOZD/BOZR)
- 角膜-強膜(c-s)接合部上の中間周辺部分
- 強膜-結膜(s-c)部分

角膜スクレラルレンズは、わずかに頂点クリアランスを持つように処方されるか、中心部でアライメントフィットします。角膜-強膜接合部上にクリアランスを設け、強膜-角膜ゾーンではアライメントフィットします。セミスクレラルレンズも同様な処方を

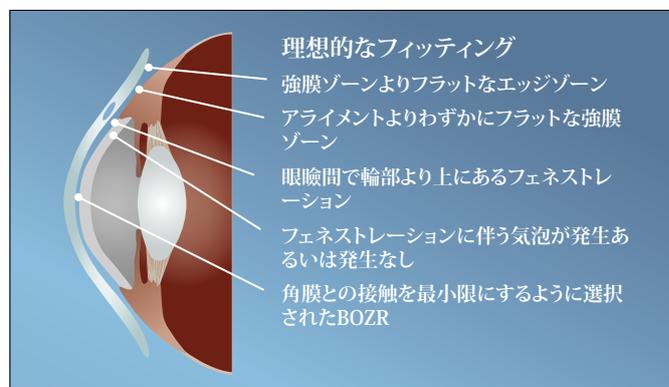


Figure 26. 強角膜デザインの図

しますが、レンズ下の涙液交換のために、より大きな頂点クリアランスが必要です。

角膜形状解析マップでは、非常に大きく歪んだコーン(球状角膜)が下方偏倚(PMD)あるいは不正形状(扁平、PKPに伴うような)であるかもしれないことを示します。それらのいずれの状態に対してもこれらのレンズの非常に大きなBOZDは有効です。



Figure 27. スクレラルレンズ、白色光

ミニスクレラルおよびスクレラルGPコンタクトレンズ

レンズ直径が15.0mmから18.0mmの間のレンズはミニスクレラルレンズ、そして18.1mmから24mmを超えるレンズはスクレラルレンズと呼ばれます。これらのレンズの処方には、角膜-強膜の接合部および強膜のトポグラフィーを理解する必要があります。

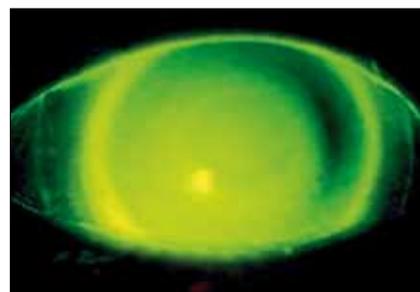


Figure 28. スクレラルレンズ、フルオレスセインパターン

圧迫鋳型テクニックを使用しないでこれらのレンズを処方することは危険です。しかし、前眼部を可視化する光干渉断層画像診断およびトライアルセットが近年導入され、これらのレンズ処方および設計する上での手助けとなりました。これらのレンズは、球結膜上で平行に安定

し、コーンに接触しないように角膜の上にアーチ型の空間を作るようにデザインされています。(Figure 26) このようなフィッティング関係を達成するために、レンズのサグは角膜のサグより大きくなければなりません。レンズの下に涙液を貯留するだけでなく角膜の非常に大きな不整部分を覆うため、これらのスクレラルレンズは、ドライアイ(たとえば、移植片対宿主病あるいはシェーグレン症候群)の治療に有用かもしれません。

レンズ直径	分類
8,0-12,8 mm	角膜レンズ
12,9-13,5 mm	角膜スクレラル
13,6-14,9 mm	セミスクレラル
15,0-18,0 mm	ミニスクレラル
18,1-24,0 mm	スクレラル

これらのレンズは快適性と良好な視力を提供するので、進行したPMD、球状角膜や突出あるいは傾斜したPKP移植眼(あるいは、その他の屈折矯正手術後のひずみ)に活用できます。セミスクレラルデザインと同様にフィッティングを成功させるには、レンズの3つのゾーンのそれぞれを個別に検討する必要があります。上眼瞼がコンタクトレンズ表面の上からポンピングアクションを起こします。レンズの中心部で生じるフレクチャー(正の圧力)とレンズ周辺部での涙液の流出に伴って発生する陰圧によって涙液交換が達成されます (Figure 27 to 28)。

ピギーバック デザイン

伝統的なピギーバックシステムは、たとえば、UltraVisionのKeraSoft® (12.5から14.5mmの範囲の)レンズのようなハイドロジェルのキャリアーレンズを彫って(8.0から9.8mmの範囲の)皿穴が作られ、硬質レンズをそこにはめ込みます。楕円コーンの軽度から中等度の症例の瞳孔上でのセンタリングに利点があり、装用感を改善します。しかし、二つのレンズの下の酸素分圧が大変低いレベルになってしまうという不利益があります(Figure 29 to 30b)。シリコンハイドロジェルの出現に伴い、ピギーバックに対する興味が再燃してきており、これらのレンズ

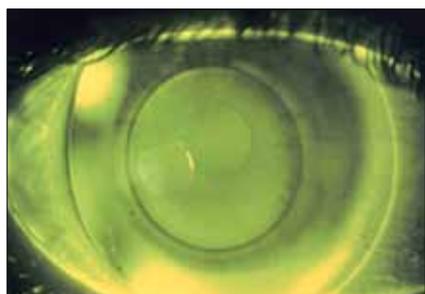


Figure 29. ピギーバック、高分子量フルオレスセイン



Figure 30a. ピギーバック、白色光

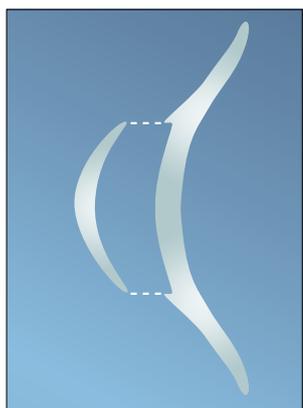


Figure 30b. ピギーバックの図

が承認適応外で使用されています(CIBA Night and Day™, Bausch & Lomb PureVision® and Vistakon Oasys™ lensだけが治療用としての適応がある)。この組み合わせは、二つのレンズシステムの下での酸素分圧を34mmHg(PMMAと低含水レンズ)から95mmHg(GPとSCL)、言い換えると 39×10^{-9} (cm/sec)(ml O₂ x mmHg)のDK/tに増加させます。この値は終日装用で角膜浮腫を避けるために必要なレベル(24×10^{-9} [cm/sec][ml O₂ x mmHg])を十分に超えています。

シリコンハイドロジェルでのピギーバック方式の利点は装用感を改善するだけでなく角膜の輪郭形状をわずかですが修正し、そして慢性的擦過傷が存在する時、角膜を保護することです。これらはハイドロジェルに比べ改良されています。皿穴が無いため、センタリングは、ソフトレンズにプラスパワーを持たせることによってのみ提供可能です。プラスパワー(+0.50D)は、ソフトレンズの中心部へのGPLenzのフィッティングを強めることによってソフトレンズ中心部にGPLenzを位置させるため、レンズのセンタリングの助けとなります。タイト化/スチープ化の効果によるソフトレンズ上でのシーリング効果を防ぐため、GPLenzの周辺部はアクシャルエッジリフトを増加させるようにオーダーし直す必要があるかもしれません。

ソフトコンタクトレンズ

不正乱視を伴う不正角膜の矯正におけるソフトレンズの役割は限られています。他が全て失敗し、患者がGPLenz装用に耐えられない時にのみ(大きな直径で角膜輪部の外側に支えられるセミスクレラルおよびミニ

スクレラルデザインのGPLenz使用の増加に伴い極めてまれですが)、これらのソフトレンズの使用を考慮してください。非常に厚い中心厚(0.3から0.5mm)の球面ソフトレンズは、ある程度の凹凸を覆い隠すかもしれませんが、しかし酸素透過性が低くそして成功率が低いことを考慮してください。代わりに、11.00Dまでの円柱度矯正のためのカスタマイズが可能な後面トーリックレンズ(また、プリズム安定化のために厚めの中心厚の)使用を検討してください。一般的には、不十分な光学的補正結果を補うために乱視用眼鏡での追加矯正が必要です。可能性のあるもう一つの選択肢は、レンズの回転および動きをコントロールできるならば、高次収差を矯正できるカスタムウェーブフロントソフトレンズの使用です。

5. レンズデザイン

角膜コンタクトレンズ

球面マルチカーブレンズ

中心部球面および周辺部球面：Soperバイカーブレンズデザインは、円錐角膜用に使用された初期のPMMAレンズです。直径は小さく固定の後面光学ゾーンを持ち、中心BCはステープですが第2カーブ(45.00D、7.5mm)は正常な周辺角膜に適合するようフラットになっています。このデザインは、現在GP材料で作られ、頂点接触がなくなるかあるいは小さい気泡が入るようになるまでレンズの中心サグを変化させて処方されています。

その後、ステープな中心および周辺に向かい徐々にフラットになるデザインを持つMcGuireレンズが使用されるようになりました。累進的にフラットになるデザインは、五段カーブ、すなわちレンズの周辺カーブがBCより3、6、8および10Dフラットな四つの部位からなっています。レンズの直径はコーンのサイズに従って選択されます。センタ

Table 1. 固定BOZDでのマルチカーブトライアルセットの例

9.4 TD																		
BOZR	7.99	7.90	7.80	7.67	7.50	7.34	7.18	7.11	7.03	6.96	6.89	6.82	6.75	6.68	6.62	6.55	6.49	6.37
BOZD	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
SC1	9.30	9.20	9.10	9.00	8.90	8.80	7.98	7.91	7.83	7.76	7.69	7.62	7.55	7.48	7.42	7.50	7.40	7.30
SCW1	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
SC2	10.30	10.20	10.10	10.00	9.90	9.80	8.98	8.91	8.83	8.76	8.69	8.62	8.55	8.48	8.42	8.55	8.40	8.30
SCW2	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60
SC3	11.30	11.20	11.10	11.00	10.90	10.80	10.18	10.11	10.03	9.96	9.89	9.82	9.75	9.68	9.62	9.65	9.55	9.35
SCW3	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
PC	12.30	12.20	12.10	12.00	11.90	11.80	11.68	11.61	11.53	11.46	11.39	11.32	11.25	11.18	11.12	11.00	11.00	10.85
PCW	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40
AEL	0.186	0.191	0.198	0.208	0.225	0.241	0.222	0.228	0.236	0.243	0.250	0.257	0.265	0.274	0.282	0.302	0.307	0.326

Table 2. 変動BOZDでのマルチカーブトライアルセットの例

9.4 TD																		
BOZR	8.00	7.90	7.80	7.70	7.60	7.50	7.40	7.30	7.20	7.10	7.00	6.90	6.80	6.70	6.60	6.50	6.40	6.30
BOZD	7.00	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.00	5.00
SC1	9.00	8.90	8.80	8.70	8.60	8.50	8.40	8.30	8.20	8.10	8.00	7.90	7.80	7.70	7.60	7.50	7.40	7.30
SCW1	7.60	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	5.80	5.80
SC2	10.00	9.90	9.80	9.70	9.60	9.50	9.40	9.30	9.20	9.10	9.00	8.90	8.80	8.70	8.60	8.50	8.40	8.30
SCW2	8.20	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.90	6.90
SC3	11.00	10.90	10.80	10.70	10.60	10.50	10.40	10.30	10.20	10.10	10.00	9.90	9.80	9.70	9.60	9.50	9.40	9.30
SCW3	8.60	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.30	8.30	8.30	8.30	8.30	8.00	8.00
PC	12.00	11.90	11.80	11.70	11.60	11.50	11.40	11.30	11.20	11.10	11.00	10.90	10.80	10.70	10.60	10.50	10.40	10.30
PCW	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40
AEL	0.213	0.262	0.270	0.279	0.288	0.298	0.350	0.362	0.375	0.389	0.403	0.455	0.473	0.492	0.513	0.535	0.606	0.633

ーコーンあるいはニップルコーン用の8.1mmから楕円コーン用の8.6mmまで、コーンの直径が大きくなるとレンズ直径も増加します。

今日、球面カーブを持つ角膜レンズは、コンタクトレンズ用のアクシャルエッジリフトプログラムを使用して設計されます。多段周辺カーブ(Table 1 および 2)を持ち、いかなる直径、後面光学ゾーン直径およびアクシャルエッジリフトのデザインでも作ることができます。高い離心率で角膜に適切なクリアランスをもたらすことができるよう、レンズのアクシャルエッジリフトが高い(通常の角膜レンズデザインより高い)ことが鍵になります。診断用レンズのデザインはそれぞれのBOZRに対し固定したBOZDを持ち、多段カーブで標準、スティープあるいはフラットな周辺カーブのどれでもオーダーすることができます。同様に、標準、スティープあるいはフラットな周辺多段カーブのいずれかを持つ変動BOZDの診断用レンズデザインもまた、成功裏に処方されています。

セミおよびミニスクレラルコンタクトレンズ

セミおよびミニスクレラルレンズのフィッティングおよびデザインは、より良好な酸素供給を可能にした高酸素透過性GPレンズ材料とともに著しく発展しました。これらのレンズは、強膜で支えられるように設計され、複数のゾーンに分けられた後面カーブに球面光学部が設けられています。デザインによっては、光学収差を減少させるために前面側に非球面の光学部を持っています。五段カーブデザインからなるレンズではカーブの中のBCおよび第1周辺カーブが角膜に位置し、次の周辺カーブが角膜輪部を越え、そして最後の二つの周辺カーブが強膜に接します。これらのレンズについては、補足 Dでさらに詳しく考察します。

ピギーバックレンズ

使用可能な中で最もスティープなベースカーブのシリコーンハイドロジェルレンズがピギーバックに使用されます。レンズのエッジ部分に溝ができるならば、レンズが明らかにフラットすぎることを示しています。そしてスティープなレンズでは角膜輪部に気泡を生じます。硬いレンズほど良好に凹凸をマスクするかもしれませんが、角膜に順応しないため瞬目での反り上がりにより、視力障害をきたすかもしれません。レンズは、GPレンズのセントリングを助けるために低プラス処方(+0.5D)を行います。ピギーバックシステムに使用する硬質レンズのBCは、0.10mmだけBOZRをフラットに補正しなければなりません。アクシャルエッジクリアランスも増加されなければなりません。

6. レンズフィッティング

適切なレンズデザインの選択

一般的考察

円錐角膜のためのコンタクトレンズの選択には、以下が含まれます。(状態の深刻度の順に)：

- 球面(二段カーブあるいは三段カーブ)および非球面ガス透過性レンズ
- 球面あるいは非球面の周辺デザインの球面多段カーブGP(特殊レンズ)
- セミスクレラルGPLレンズ

進行した球状角膜、PMDおよび術後の症例ではミニスクレラルまたはフルスクレラルが有益かもしれません。

この場合、GPLレンズが必要とされることが不可避であるため、GPコンタクトレンズのフィッティングから始めることが賢明です。一般的に、視力がもはや眼鏡では適切に矯正できなくなった時、患者はコンタクトレンズ装用開始の対象と考えられます。患者の視機能ニーズが主要な決定要因となります。

- 既往歴
- 涙液評価
- 眼瞼および瞼縁の評価
- 角膜曲率測定
- ビデオ角膜形状解析
- 屈折
- トライアルレンズ フィッティング
- 追加矯正
- フルオレスセインパターン解析

フィッティング前の評価で、次の二つの重要な角膜パラメーターを定めなければなりません。

- 状態の程度
- コーンのサイズおよび場所(BOZDおよびTDの選択に必要)

円錐角膜の程度が、二つのK値の平均によって決定されます。もし、K値の平均が50.00D(6.75mm)より小さい場合、コーンは初期段階であると考えられます。もし、K値の平均が50.00Dから56.00D(6.75 から 6.03mm)の場合、コーンは進行段階であると考えられます。56.00D(6.03mm)を超える場合、コーンは重度と考えられます。ビデオ角膜形状解析は、コーンの形状、位置およびサイズを測定するのに役立ちます。コーン部分は、進行段階までは明瞭な形状を有しており、ニップル(おおむね中心部そして/あるいはわずかに鼻側)、角膜の75%あるいはそれ以上の領域に及ぶ楕円(下方そして側方に偏倚)あるいは球状として分類されます。

フィッティングには、トライアルレンズの使用が重要です。

BOZRの選択

特定のBOZDおよびTDに基づきレンズのBOZRを選択するためには、K値がスティープになると角膜のサグが増加するというのを覚えておいてください。角膜乱視が増加しK値が増加する時、BOZRを大きくして合わせなければなりません。

Edrington等(Optom Vis Sci 1996)は、研究の出発点としての平均K値を使用するにあたって、従来の角膜曲率測定によって得られた値を使用しました。彼らは、平均K値とBOZR(p=0.3907)の間に有意な違いを見いだしていませんでしたが、この研究では最終的にフィッティングに成功した最終のBOZRが解析されたのではなく、開始の際にそれを使用していました。

もし、Table 3のフィッティング図表(ノモグラム)あるいはレンズ製造メーカー提供のフィッティングノモグラムを適用するならば、角膜形状解析装置およびシミュレーションされたセントラルK値を使用して、円錐角膜患者へのコンタクトレンズのBOZRをより精密に予測することができます。

過剰にフラットなBOZRは避けてください。不快感を増加させるだけでなく、角膜ステイン、瘢痕および歪みを増加させるかもしれません。頂点クリアランスが高すぎると角膜を圧迫変形させ、一時的に角膜浮腫、角膜ス

テイン及びレンズが動かないための上皮への圧痕などの症状を起こします。角膜瘢痕や視力不良も報告されています。

SorbaraおよびLuong(1999)等は、角膜の形状および頂点の偏心を最も適切に測定できるので、フィッティングにインスタントニアス(あるいは、タンジェンシャル)マップを使用しました。患者は角膜乱視の量(デルタK)によって分類され、そして最適な最終BOZRが記録されました。フラットK値と最終ベースカーブとの相関に基づいて方程式が計算されました。Table 3は、角膜形状解析装置によるシミュレーションK値から得られるデルタKおよびフラットKを使用して、円錐角膜患者へのフィッティングのために導き出されたフィッティングノモグラムを要約したものです。以下にその例を示します。

症例1の角膜形状解析装置によるシミュレーションフラットK値が48.00D(7.03mm)で、角膜乱視が-3.00Dである場合、コンタクトレンズのBOZRは、 $48.00 - (0.609 \times (-3.00)) = 49.83D(6.77mm)$ に等しくなります

症例2の角膜形状解析装置によるシミュレーションフラットK値が48.00D(7.03mm)で、角膜乱視が-7.00Dである場合、BOZR = $48.00 - (0.419 \times (-7.00))$ で 50.93D(6.62mm)に等しくなります。

コンタクトレンズのベースカーブを決定するためにビデオ角膜形状解析装置の使用を支持する研究がどんどん増えていきます。Wassermanら(CLAO J 1992)は、11症例に非球面レンズを処方した後、BOZRが5mmゾーンでのフラットKに最もよく相関していることを発見しました。Donshikら(Trans Am Ophthalmol Soc 1996)は、GPレンズの最終BOZRは、3mmの中心ゾーンで最もフラットな中心部経線の平均と最も良く相関することを発見しました。Szczołka(CLAO J 1998)はアクシャルスティーブのシミュレーションされたK値(ここで、第5、第6および第7経線の平均が求められます。)がGPレンズに最適な平均の球面BOZRを表すことを発見しました。

Table 3. TD9.4mmの場合に角膜乱視に基づいて決定されるBOZR

ΔK (D)	BOZR (D) (9.4TD)
-0.25D -3.75D	Flat K (D) - 0.61 x (ΔK)
-4.00D -7.50D	Flat K (D) - 0.50 x (ΔK)*
-7.75D -16.75D	Flat K (D) - 0.35 x (ΔK)

7.4mmのBOZDにおけるおおよその平均K値

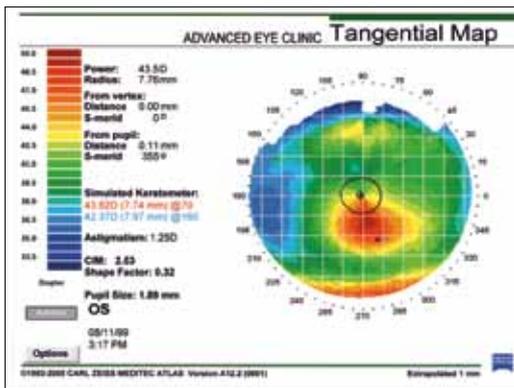


Figure 31. 初期の楕円コーン、角膜形状解析マップ

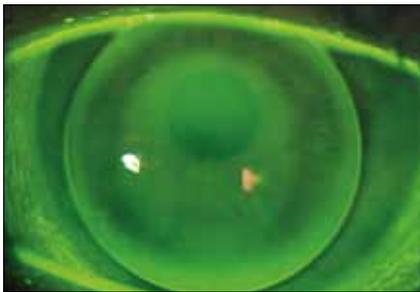


Figure 31a. フルオレスセイン、初期の楕円コーン

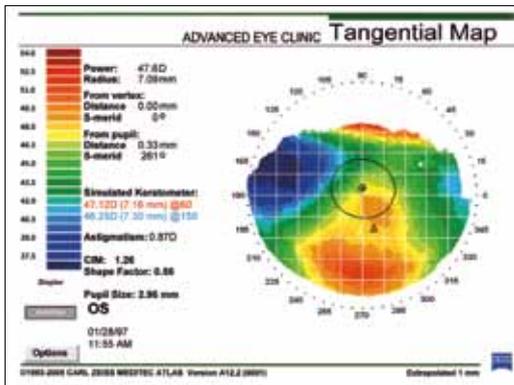


Figure 32. 中等度の楕円コーン、角膜形状解析マップ



Figure 32a. フルオレスセイン、中等度の楕円コーン

平均的な乱視眼(-4.00Dから-7.50Dの間の)において、ノモグラムでは直径9.4mmのレンズの場合に適するBOZRとして、シミュレーションK値のおおよその平均値を呈示しています「フラットK値から引く値が ΔK の0.419からおおよそ0.50に等しい(即ちフラットKおよびスティーブKの平均)」。BOZDがレンズ直径と共に大きさが変化するならば、9.4mmより小さな直径(たとえば、8.7mm)のレンズでは、平均K値より0.2mmスティーブな量が良い開始の値です。より大きな直径のレンズ(たとえば、9.6mmから10.1mm)では、平均K値より0.2mm大きなフラットな値が開始に当たっての良いBOZRです。最終的にBOZRは、フルオレスセインパターン診断によって決定されます。この時、穏やかな3ポイントタッチが理想的です。(Figure 31a および32a)過度の3ポイントタッチは、結果として角膜癒痕、過度のレンズ偏倚、異物感および角膜歪曲の原因となります。

同じ法則が、二段非球面レンズにも適用できます。ただしベースカーブの初期値は、コンタクトレンズの後面と角膜がより近接するために、ノモグラムによって示唆された値より0.1から0.2mmフラットでなければなりません。

度数の考察

円錐角膜の診断における初期の兆候は、乱視の増加そしてそのシリンダー軸の変化です。ペルーシド角膜変性の場合を除き、円錐角膜の患者は正乱視あるいは斜乱視のどちらかを伴う近視性乱視です。あるいは遠視を伴う強い倒乱視です(瞳孔領の過度の平坦化のため)。どちらの場合でもこの乱視は、一層不規則性および非直交性を増すので、検影法を困難にし、患者の矯正視力をさらに低下させます。GPLレンズが装着された場合だけ追加矯正が可能です。GPLレンズが過度に歪まない限り、GPLレンズの球面後面が涙液フィルム表面を球面に作って角膜の凹凸を中和します。GPLレンズなしでは、屈折は予測不能です。経験的なフィッティングは、コーンがスティーブになるに従ってますます難しくなります。

フィッティング方法: 適切なBOZDおよびTDの選択

小さな後面光学ゾーンを持った小さな直径のレンズを使うことは、レンズ頂点クリアランス(スティーブ)を持つようにフィッティングすることを以前は意味していました。そして大きな直径のレンズの使用は、頂点接触および眼瞼接触でフィッティングすることでした。ほとんどのエキスパートは、これらの後者のタイプのフィッティングは避けるべきだと信じています。3点接触法ならば視力を改善するだけでなく、長期の角膜の健康維持に役立つものです。

タンジェンシャル角膜形状解析マップを注意深く評価して、円錐角膜患者のためには特に精密にBOZD(そして、結果としてTD)を予測してください。そのマップで、患者のコーンがニップル、楕円あるいは球状のどのタイプであるか、また角膜の菲薄化領域およびコーンの位置を確認することができます。どの角膜形状解析マップでも大きさの表示機能があり、一目盛りが1mm間で、スティーブになった領域の大きさの迅速な測定に役立ちます。コンタクトレンズのBOZDとこの測定結果とを注意深く一致させることが、コーン周りのフルオレスセイン貯留領域の外観およびレンズのセンタリングを予測するのに役立ちます。これら二つのパラメーターは、円錐角膜患者へのフィッティングを成功させるために非常に重要です。

コンタクトレンズメーカーと緊密に連絡を取ることは、診断用レンズのデザインを理解し、角膜コーンの大きさおよびタイプと処方レンズのパラメーターを合わせる上で非常に有益です。

小さな直径のレンズ(8.5mmから9.3mm)

円錐角膜のコーンの大きさおよびタイプを確認すれば、レンズの後面光学ゾーンの直径を選択することができます。

小さな直径のレンズは、おおむねニップルあるいはセンターコーンそして初期の楕円コーンに適しています。

ニップルコーンが進行するにつれ、より直径の小さなレンズを用いると、同様に小さくなる後面光学ゾーン直径(BOZD)と相まって良好なセンタリングを示し、コーン周りの気泡の発生を防ぎます。

中心部に位置するニップルコーンは小さなものですが、それは進行しスティーブ化すると共に、ますます小さくなります(Figure 33a and 33b)。コーンがさらに小さくなるに従い、涙液が貯留するコーンの上方および下方の隙間を最小限にしコーンに適合させるために、BOZDおよびBOZRを一層小さくするようにしなければなりません。これによってレンズのセンタリングおよびコーンとのアライメントが良好になります。

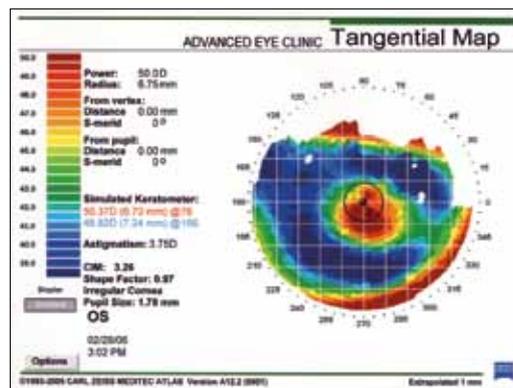


Figure 33a. センターコーン(初期)、角膜形状解析マップ

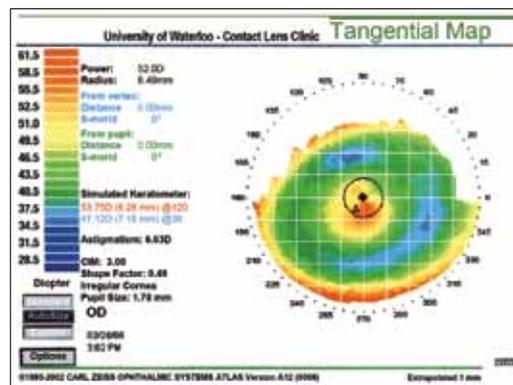


Figure 33b. センターコーン(後期)、角膜形状解析マップ

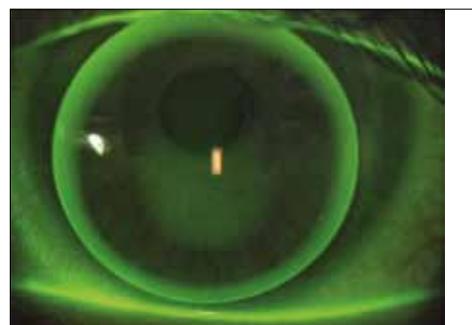


Figure 34. センターコーンの上の小さな直径のレンズのフルオレスセインパターン

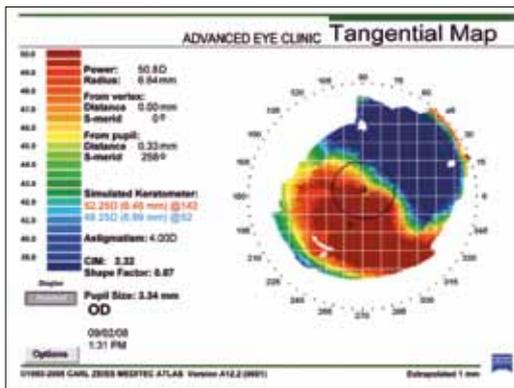


Figure 35 重度の楕円コーン(角膜形状解析マップ)

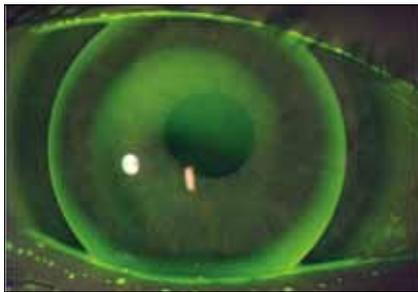


Figure 35a フルオレスセイン、重度の楕円コーンavanzato

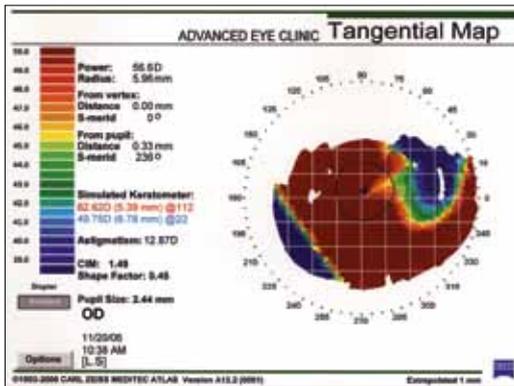


Figure 36. 球状コーン(角膜形状解析マップ)



Figure 36a フルオレスセイン、球状コーン

中程度の直径のレンズ(9.4mmから9.9mm)のフィッティング

大きな後面光学ゾーン直径を持つレンズほど、進行性の楕円コーンへのフィッティングに適しています。すなわち、楕円コーンが進行してもセンタリングを促進し、過剰なクリアランスおよびコーンの周りの気泡を抑制します。

Figures 31, 32, 35 および 36 は、楕円タイプにおいてそれほど進行していない円錐角膜でのコーンは小さいものの、円錐角膜が進行するほどに大きなコーンになっていることを示しています。BOZD(および、全直径[TD])を選択するためにはビデオ角膜形状解析をよく観察してコーンの大きさまたは面積を評価してください。大きな(そして通常スティープで進行した)コーンには、より大きなBOZDおよびTDを選択してください。

これらの進行した楕円タイプのコーンに対しては、中心部がよりスティープで大きなBOZDのコンタクトレンズが、頂点のクリアランスはないものの角膜の形状に良く沿うので、より大きなそしてスティープな角膜キャップに適しています。その時に生じる頂点接触は強くはいけません。

Figure 31a, 32a, 35a および 36a は、球面のGPLレンズで矯正する時に用いられる軽い3点接触を示しています。この方法は角膜頂点での外傷を最小限にし、それでいて不整な角膜表面がやがて「均整化され」あるいは球面化されることによって最適な視力を得ることができます。McGuire™の多段カーブデザイン(ほとんどのレンズメーカーで製造可能)あるいはSoperデザインに基づくトライアルセットは、それぞれのレンズ直径で固定BOZDを持っています。たとえば、5.75mm BOZD/9.0 TD(初期の円錐角膜用)あるいは6.25mm BOZD/9.6 TD(中等度の円錐角膜用)あるいは7.0mm BOZD/10.1 TD(重度の円錐角膜用)のいずれでも処方可能です。

大きなTDの角膜レンズ(10.0mmから12.8mm)および角膜スクレラルレンズ(12.9mmから13.5mm)のフィッティング

進行したコーンの大きさに適合させるために、過剰なクリアランスあるいはコーン頂点での過剰な接触を避けながらさらに大きなBOZDで大きな直径のレンズを処方するとセンタリングはむしろ良くなります。Figure 36a は、大きなBOZDおよび大きなTDの

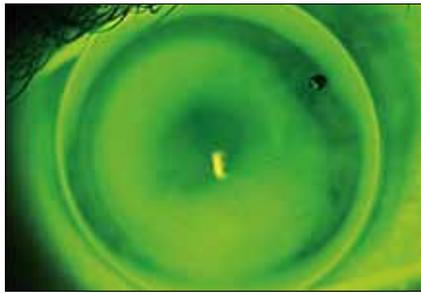


Figure 37.の 直径10.4mm

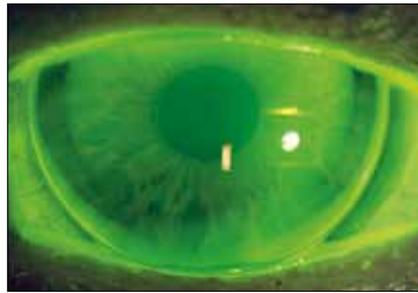


Figure 38.の 直径11.2mm(球面)

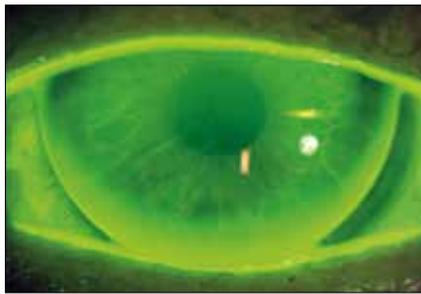


Figure 39. 直径11.2mm(非球面)

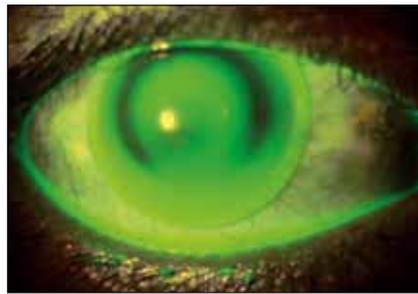


Figure 40. 直径13.5mm

レンズが大きな(球状)コーンにフィッティングされた例を示しています。その結果、良好なセンタリングおよび穏やかな3点接触を示しています。

このレンズは、非球面で大きなTD/BOZD(10.2mm/9.2mm)を持っています。もう少し大きな10.4mm直径のレンズの選択(Figure 37)も適切と言えます。球状コーンについては、もっと大きな直径(たとえば、11.2mm)(Figure 38および39)のレンズあるいはFigure 37の直径10.4mm、Figure 38の直径

11.2mm(球面)の12.9から13.5mmのTDの角膜スクレラルレンズが、望む効果を上げるでしょう(Figure 40)。

Table 4は BOZDとコーンサイズの関係の概要を示しています。Tables 5a と 5b は、BOZDとBOZRが互いに関連していることを示しています。

セミスクレラルレンズ(13.6mmから14.9mm TD)およびミニスケラルレンズ(15.0から18.0mmTD)のフィッティング

セミスクレラルレンズは、重度の円錐角膜、PMD、外傷後、屈折手術後の角膜拡張症、全層角膜移植術後およびpost-RK, PRKおよびLASIK後のような、極端に不整なコーンへのフィッティングに使用されます。コンタクトレンズの適切なベースカーブあるいはサグを選択するためには角膜のサグについて考えることが役立ちます。コンタクトレンズのサグを確実に角膜サグより大きくすることが理想的です。そして、気泡の発生を招くほど大きすぎる間隙を作らずにレンズの後面全体にわたって涙液の貯留が持続することが理想的です。

Visante OCT装置を使用すると、どの弦の位置でも角膜サグを直接的に測定することができます(Figure 4)。Orbscan IIでもまた、HVID(「white to white(白目から白目)」と呼ばれる)の弦で、前房深度の測定値と共に角膜サグの概算値を求めることができます。中心点での角膜厚を加えた測定値が角膜サグの概算値となります。Medmontのような他の角膜形状解析装置は角膜サグの測定値を直接与えます。また、どんな角膜形状解析装置であっても離心率(e-value)が得られるならば、角膜サグは偏長楕円についての式を用いて計算できます。この計算には形状係数($p = 1 - e^2$)、フラット経線でのK値および任意の半弦直径が使用されます。

$$Sag = \frac{r - \sqrt{r^2 - p \left(\frac{corda}{2} \right)^2}}{p}$$

ここで、rは曲率半径、そして pは形状係数

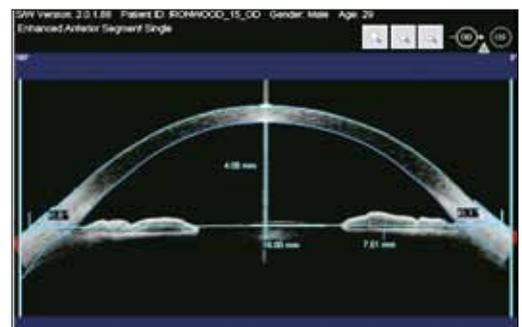


Figure 41. Visanteでのサグ

Table 4. コーン直径のBOZD/TDに対する関係

コーンのタイプ	コーンの直径	BOZDの範囲	LDの範囲
センターコーン:			
Early	4.0 to 5.0 mm	7.40 to 8.10 mm	9.4 to 9.6 mm
Moderate	4.4 to 5.0 mm	5.00 to 7.30 mm	8.8 to 9.3 mm
Late	2.0 to 2.7 mm	3.00 to 4.90 mm	8.0 to 8.7 mm
楕円コーン:			
Early	2.0 to 4.0 mm	5.25 to 7.50 mm	8.5 to 9.6 mm
Moderate	4.2 to 5.0 mm	7.60 to 8.10 mm	9.8 to 10.1 mm
Severe	5.2 to 7.0 mm	8.20 to 9.40 mm	10.2 to 11.4 mm
Globus Cone	>7.0 mm	9.20 to 9.60 mm	10.2 to 11.4 mm
PMD(ペルーシド角膜変性)			
Early	5.0 to 7.0 mm	8.20 to 9.40 mm	10.2 to 11.4 mm
Late	7.2 to 9.0 mm	9.40 to 10.50 mm	11.4 to 18.2 mm

Table 5a. 変動BOZDに基づいたBOZRの決定

変動BOZD	BOZR (mm)
3.3-4.3 mm	平均 K (mm) - 0.4mm
4.4-5.0 mm	平均 K (mm) - 0.35mm
5.1-6.1 mm	平均 K (mm) - 0.3mm
6.2-7.2 mm	平均 K (mm) - 0.2mm
7.4-8.0 mm	平均 K (mm)
BOZD > 8.1	平均 K (mm) + 0.2mm

Table 5b. 固定BOZDに基づいたBOZRの決定

Fixed BOZD/LD	BOZR (mm)
6.5-7.2/8.5-9.0 mm	平均 K (mm) - 0.2mm
7.3-7.5/9.2-9.6 mm	平均 K (mm)
7.6-8.1/9.8-10.1 mm	平均 K (mm) + 0.15mm
8.2-8.6/10.2-10.6 mm	平均 K (mm) + 0.2 to 0.3mm
8.7-9.4/10.8-11.4 mm	平均 K (mm) + 0.4

角膜サグが得られたならば、確実に角膜クリアランスができるように、僅かに大きなサグのセミスフレラルレンズを選択します。もし、曲率半径値が表示されているレンズであれば、コンタクトレンズのBOZDでの角膜サグを計算することができます。そして、この値は曲率半径に換算することができます。製造メーカーのフィッティングガイドもまた、コーンの進行度に基づいて最初に試すべきトライアルレンズを提案します。

$$r = \frac{\left(\frac{corda}{2}\right)^2 - p(sag)^2}{2(sag)}$$

中間周辺部での涙液貯留の達成のためにコンタクトレンズの中間周辺部(二段あるいは三段の球面カーブあるいは非球面ゾーンのいずれであっても)は次のようにします。

- (もし、クリアランスが無い場合)フラットにする、もしくは
- (もし、気泡を伴いクリアランスが過剰な場合)スティープにする。

レンズの最後の部分、強膜ゾーンはRT-Vue OCT (Clarion Medical Tech)、Visante OCT (Zeiss Meditec, CA) のような新しいOCT装置およびスリットランプ側面写真撮影でも部分的にしか観察することができません。結膜血管の血流の途絶の評価とフルオレスセイン観察で接線状態の(すなわち強膜との一致)スクレラルゾーンを確認してください。

セミスクレラルレンズの例については、Figures 42, 42a, 42b および 43を参照してください。

レンズの周辺デザイン

アクシャルエッジリフト(AEL)の決定

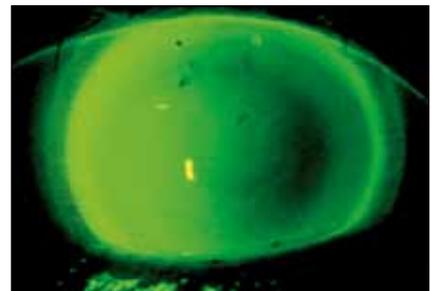
レンズの性能に関する最後のパラメーターであり、また角膜生理に影響を及ぼさないようにするパラメーターは周辺カーブのシステムです。これはレンズのアクシャルエッジリフト(AEL)と言われるもので、また眼球上ではアクシャルエッジクリアランス(AEC)と表現されます。アクシャルエッジクリアランス(AEC)は、角膜とコンタクトレンズの間の涙液層の厚み(TLT)として表されます。

初期の円錐角膜に対しては、120ミクロン(標準)のアクシャルエッジリフト(AEL)を持つレンズ、あるいは僅かに高いAELを持つ標準的な非球面レンズ(たとえば、Boston Envision™)を使用してください。このAELの量は、平均e値(0.45から0.55の離心率)に基づいています。円錐角膜が進行段階に達すると、コーンの曲率が増加し(そしてそれ故にそのサグが増加し)その上周辺に向かって急激にフラットになります。そのため高いAEL(最初は、200から300ミクロン)で平均のBOZDより小さくあるいは大きくした多段カーブデザインのフィッティングが必要です。円錐角膜のコーンの離心率が増加し(0.75から \approx 1.00)中心部がスティープになると、650ミクロンまであるいはそれ以上のAELが必要になることがあります。

診断用トライアルレンズは、平均的なAELよりいっそう高い周辺デザインを持つ形での標準周辺部を有しています。これらのレンズのトライアルフィッティングでのフルオレスセインパターンは、中心部で穏やかな3点接触を示すかもしれませんが、不十分な(一般的)あるいは過剰な周辺クリアランスを呈することがあります。そのような症例においてのみ、周辺エッジリフトの調整が必要になります。中心部のパターンが理想的になるまでレンズのAELは変更すべきではありません。周辺クリアランスの状態は単に過剰にスティープかフラットなレンズであるための結果なのかもしれません。レンズ-角膜ベースカーブ(BOZR)の関係が理想的になってから周辺部を規定のステップ(ステップ #1、#2 あるいは #3 等)でスティープあるいはフラットに変更して再オーダーします。

非常に小さいBOZD(3.7mmから5.1mm)のレンズに周辺デザインの

調整を加えると、レンズ中心部のフィッティングに影響を及ぼします。周辺がスティープになると、サグが大きくな



Figures 42, 42a および 42b. 直径15.8mm

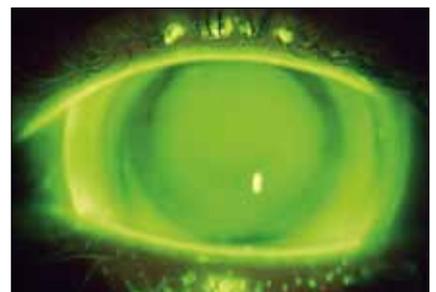


Figure 43. 直径18.2mm

るため、中心部のフィッティングもよりスチープに見えるようになります。そのため製造メーカーは、サグの変化を補正するために自動的にBOZRをフラットにします(通常0.05mm)。レンズの度数もまた、同時に-0.25D補正されます。周辺がフラットになると、小さなBOZDのためフルオレスセインパターンで観察されるサグが減少します。そこで同じように、BOZRはよりスチープ(0.05mm)にされ、そしてマイナス度が減らされます(+0.50D)。レンズをオーダーし直してみると、さらなる補正を避けるために、これらの新しいパラメーターが既に調節済みであることがわかるでしょう。

一般的に、大きなBOZD(>6.25mm)のレンズでは、フルオレスセインパターンが周辺エッジリフトの増減によって生ずるサグ変化の影響を受けることがないので、サグの変化を理由とする補正は必要無いでしょう。これらのレンズでは、BOZRを維持したまま、周辺およびAECを増加あるいは減らしてオーダーされることはあります。そして新しいレンズをトライアルフィッティングした際には、補正が必要かどうかを確認するためにフルオレスセインパターンを評価します。

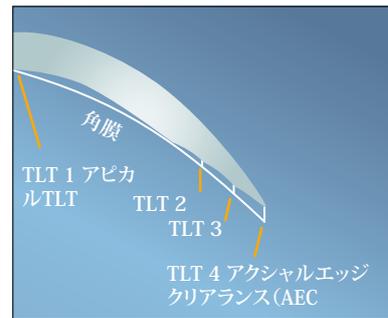
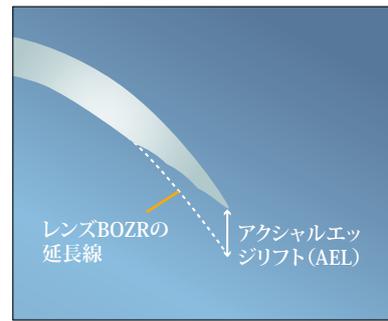


Figure 44. コンタクトレンズのAEL および AEC

トーリックあるいは不均等な周辺部

近年のレンズデザインは、不正乱視が角膜周辺部まで延びているかどうかを評価するために役立つ角膜形状解析データに基づいています。これらのデザインでは、トーリックな周辺部すなわちレンズの一部の区画が他の部分より低いAELを持つように作られた周辺部を持っています。トーリック周辺部は1.00mm幅で、二つの経線の間で0.8mmの違いのあることがあります。このような変更が加えられる場合BOZRは0.05mmスチープにされ、度数補正として-0.50Dの追加がなされます。

角膜下方が非常にスチープで下方に偏倚している場合、レンズの下方エッジが持ち上がり、下眼瞼に異物感を生じます。このような状態が角膜形状解析で示唆される場合、周辺「トーリック」デザインが提案されます。レンズは90°部では標準の周辺デザインであり、270°部でスチープな周辺デザインになっています。レンズを安定化させるために270°の位置で1から1.25のプリズムを持たせます。他のデザインでは、上方が標準の周辺ゾーン、下方の四分円がスチープに、鼻側と耳側では移行ゾーンとして中間的なAELになっています。

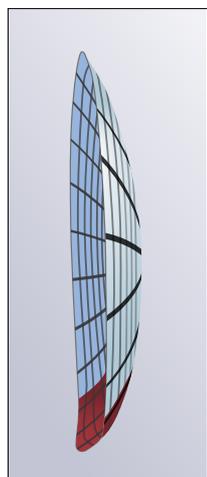


Figure 45. 不均等な周辺部

これらのレンズデザインは、円錐角膜の患者の角膜より遙かに下方に角膜の薄化が起り、その結果レンズの下方エッジに過剰なクリアランスを生ずるペルーシド角膜変性症のケースにも有用です(Figure 45)。

適切なフィッティングの評価

フルオレスセインパターン

スリットランプでフルオレスセインパターンを評価するときは最大の励起状態で観察できるように、コバルトフィルター光を用い、Wratten #12の黄色を強調するフィルターを使用しなければなりません(Figure 46)。レンズの表面に付着するフルオレスセインを最低限にするた

めに、湿らしたフルオレスセイン紙を球結膜に接触させます。ほとんどのトライアルレンズは標準的なエッジリフトを持っていますので、高いe-値の進行したコーンでは、よりフラットな周辺が必要とされます。中央での



Figure 46. Wratten Bostonフィルター

フルオレスセインパターンを評価するにはレンズのタイトな下方エッジの下に涙液をポンピングして送り込んでください。また、特に強膜部分で支持されるレンズは、時間とともにたわんで角膜に接近するので、5から20分間レンズを落ちつかせることが重要です。

3点接触(分割支持)

レンズ中央部でのフィッティング外観は、頂点クリアランスがあるかないかの穏やかな3点接触が得られるべきであると一般的に考えられています。この接触の位置はコーン頂点の位置により異なります。ニップルコーンならば中央部に位置するでしょうが、楕円コーンの場合は下方あるいは下側方に偏倚しているでしょう。他二カ所の接触部は、通常最もフラットな経線に沿うように位置するので、円錐角膜では通常水平方向そして初期のPMDではおそらく垂直方向でしょう。周辺を標準よりフラットにすることによって、0.5から0.7mmの幅の周辺クリアランスを達成可能です。

頂点タッチ

過度にフラットなベースカーブ(あるいは、過剰に低いサグ)によって引き起こされる頂点接触は、螺旋状ステインおよび瘢痕化を含む頂点の障害を起こす可能性があります。大きな直径のレンズでは、当初から理解されているように眼瞼に触れるようなフラットフィッティングは必要ではありません。過度な頂点接触が無いように、大きなコーンに対してはサグを大きくしてください。Figure 48 は、フラットフィッティングによる角膜頂点の障害を示しています。このタイプのフィッティングは避けるべきです。

頂点クリアランス

過剰な頂点クリアランスも避けるべきです。気泡が、光学ゾーンに入ると装用感および視力が損なわれます。貧弱な視力は、レンズのたわみに起因する可能性があります。すなわち、たわみによって涙液層の表面がトリック形状になり、このことによる残余乱視のためにレンズはもはや不正角膜を矯正できないからです(Figure 49)。強度の乱視を伴う角膜にお



Figure 47. 3ポイントタッチ(分割サポート)、フルオレスセイン



Figure 48. フラット(中央部接触)、フルオレスセイン

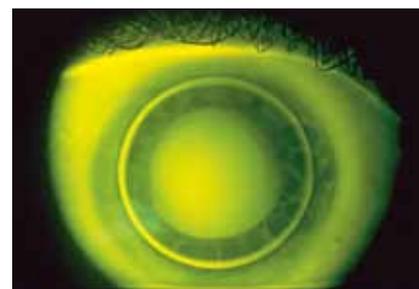


Figure 49. スティープ(頂点クリアランス)、フルオレスセイン

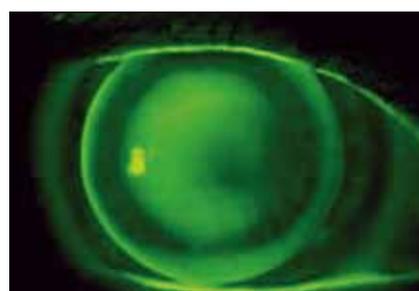


Figure 50. 理想的な周辺エッジクリアランス(球面レンズ)

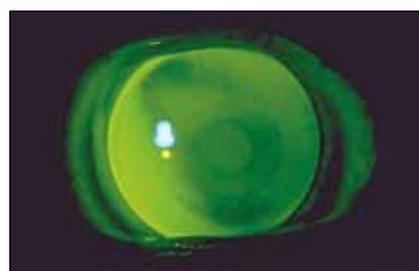


Figure 51. 理想的な周辺エッジクリアランス(非球面レンズ)

角膜の離心率と、円錐角膜のケースではそれが増加することを角膜形状解析マップから理解して下さい。周辺クリアランスの量を理想的にするためにはレンズのアクシャルエッジリフトを増加させるかあるいは減少させるのかについての理由を知る手助けになります。

いては特に、過度のステープなレンズによって角膜曲率がステープになるため角膜モールドイングが起こり、近視が強まります。

理想的なアクシャルエッジクリアランス

理想的な中央部のフルオレスセインパターンが達成できたならば、中間周辺部および周辺部のフルオレスセインパターンを評価します。理想的には、周辺カーブが球面のレンズならば、アライメントパターンにおいて中間周辺部が角膜の中間周辺部に接しているべきです (Figure 51)。もしレンズの周

辺カーブが非球面であるなら、レンズの周辺に向かって薄く羽毛のように広がるクリアランスを伴う明瞭なアライメントを呈します (Figure 51)。コンタクトレンズの周辺部は、角膜周辺部から100から120ミクロンのクリアランスがなければなりません。もっと大きな直径のレンズは、よりフラットな周辺カーブを持つので(すなわち、アクシャルエッジリフトの増加)僅かだがもう少し大きなクリアランスができます。そして、直径が小さなレンズにおいては、僅かに少ないクリアランス(すなわち、アクシャルエッジリフトの減少)が必要です。この理想的なレンズのクリアランスはレンズの動きを確実にし、涙液交換とレンズ下から老廃物を取り除き、さらにレンズのセンタリングをコントロールするために必要です。

0.7mm幅のリング状で全ての方向で均一なクリアランスが理想的です。大きくそして低いコーンに対してもレンズのBOZDおよびTDが十分に大きいならば周辺クリアランスは360°均一であり、かつレンズの下端エッジは下眼瞼に挟み込まれていなければなりません。理想的なクリアランスを達成するためにはAELをフラットあるいはステープにする工夫が必要です。もし必要なら、均一なエッジクリアランスを達成するために、レンズの1象限だけアクシャルエッジリフトを変更してみてください。

ごく僅かなエッジクリアランス

いかなる直径のレンズであっても、エッジクリアランスがごく僅かだったりあるいはまったく無いフィッティングは、受け入れられません。それは、角膜モールドイングの原因となる周辺衝突(侵害)、ステイン、レンズの動きの減少あるいは消失を導き、また涙液および老廃物の滞留を導き、浮腫および炎症性反応を起こすかもしれません。僅かしかクリアランスがないレンズは、コーンの頂点にまたがって位置する傾向があり、下方、耳側あるいは鼻側に偏倚することもあります (Figure 52)。

過剰なエッジクリアランス

過剰なエッジクリアランスは、刺激感と異物感を起こします。また、レンズの下方エッジが下眼瞼の上に位置することで、極端な側方視

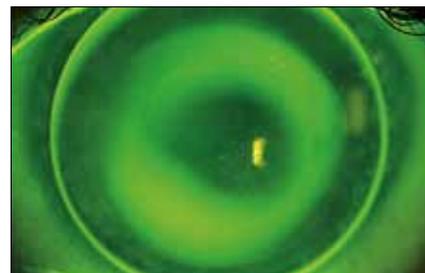


Figure 52. ごく僅かなエッジクリアランス



Figure 53. 過剰なエッジクリアランス(下眼瞼上に位置する。)



Figure 54. 中心に位置するレンズ

でレンズが脱落したり、しばしばずれる原因になります (Figure 53)。上眼瞼もレンズを引きずり上げるかもしれませんが。下方に偏倚したコーンの頂点を局所的にフラットにするので、これもまた望ましい状態ではありません。

レンズのセンタリングおよび動き

理想的には、眼瞼間にフィッティングするレンズはいかなるものも中央に位置すべきです (Figure 54)。良好なセンタリングは理想的なフルオレスセインパターンが得られたとき、そしてコーンの直径に適合する適切なレンズ径が選択されたとき (これは、より大きな直径のコーンにより大きなレンズをフィットする場合) 達成できます。また、レンズの動きは、正常な角膜生理を促進するために必要です。レンズの動きは、小さな直径のレンズでの 2.0mm から非常に大きな直径の角膜レンズでの 0.5mm までの範囲です。角膜スクレラルそしてセミスクレラルレンズでは、動きはごく僅かかほとんどありません。これは、レンズ下の涙液交換が、眼瞼に押されたレンズがたわんで頂点クリアランスが変動することによるポンプ作用に依存するからです。プッシュアップ法を使用し、強膜上のいかなる接触点においても自由に動くことを確かめてください。

追加矯正

トライアルレンズのフィッティングが最適化されたなら、レンズの最終パワーを決定するためにレンズを装用したまま追加矯正を行います。検影法は中央と周辺で影の動きが異なる Scissors Reflex のため使用するのには困難ですが、オートリフラクションは、良い手助けになります。円柱度数および軸の決定は潜在的に困難なため、最初に球面の追加矯正を行います。もし、残余乱視を矯正することによって視力が改善する明白な証拠があるなら、(特に、老視の円錐角膜患者について) コンタクトレンズの上から用いる眼鏡処方へ進みます。

角膜形状解析マップからのフルオレスセインのシミュレーション

ビデオケラトスコープを使用して精密に角膜の形状を測定し、そしてフィッティングノモグラムを適用すると最終の BOZR、BOZD および TD を迅速に決定するのに役立つでしょう。角膜形状解析装置のソフトウェアはあなた方開業医に、コンタクトレンズのフィッティングモジュールの中で「Doctor Preference」の欄に選択したい特定のレンズタイプのフィッティングノモグラムを自分用にインストールするように勧めてくるでしょう。いくらかの専門知識があれば、どの角膜形状解析装置にも円錐角膜用多段カーブレンズデザインの処方用にそのノモグラムをインストールすることができます。角膜形状解析装置およびこのフィ

ッティングノモグラムを使用して初回レンズそして/あるいは最終レンズのパラメーターを予測することは、オプトメトリー業務上でそれらが更に使われていくことの裏付けになります。角膜形状解析装置は、またフルオレスセインのシミュレーションパターンも呈示するので、ステープ、フラットあるいは理想的なセンタリングのフィッティングを例示するように操作することができます。それらの例を Figures 55, 56 および 57 (Focal Points のフルオレスセインシミュレーション) に示します。

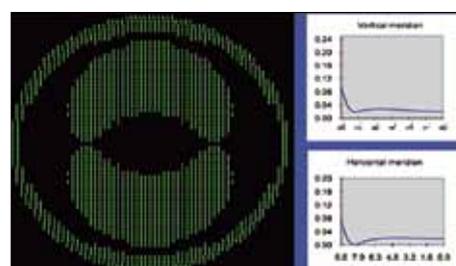


Figure 55. 理想的なフルオレスセインパターンのシミュレーション

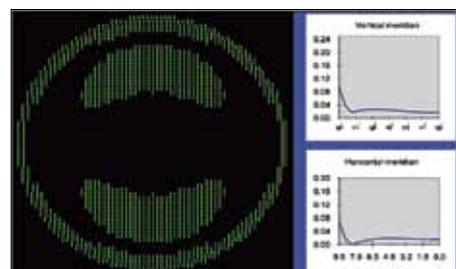


Figure 56. フラット過ぎるフルオレスセインパターンのシミュレーション

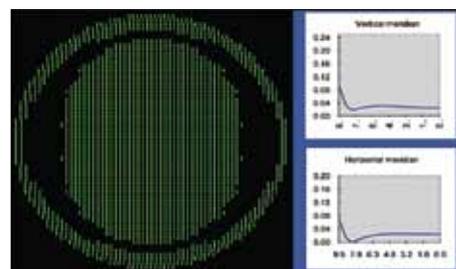


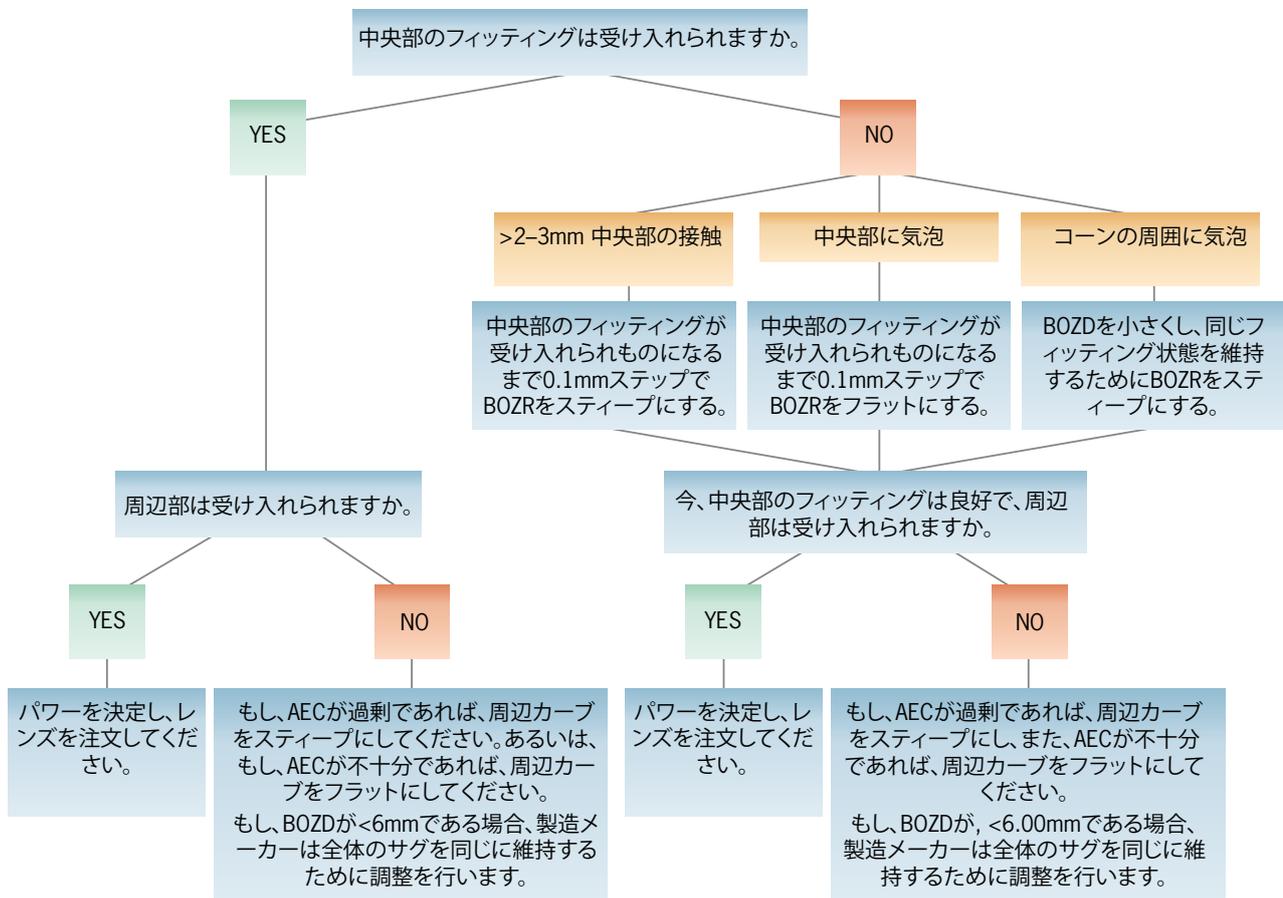
Figure 57. ステープ過ぎるフルオレスセインパターンのシミュレーション

7. フォローアップおよび管理戦略

フォローアップの方法および検査スケジュール

一般的に円錐角膜患者には、他のコンタクトレンズ装用患者より頻繁なフォローアップおよびアフタケアの検査が必要です。彼らはあなたのケアに対して、非常に誠実で感謝の気持ちを持っています。彼らはあなたを専門医として見ており、新たな患者をあなたに紹介するでしょう。またレンズパラメーターの変更は、特にコーンの状態が進行段階にある間は定期的に必要になるでしょう。

最初のレンズを引き渡し取り扱い説明の後、1週間目、1ヶ月、2ヶ月そして3ヶ月目の定期検査および引き続き3ヶ月毎の検査を最初の1年間に行います。症状の進行の程度にもよりますが、その後の定期検査の頻度は減らされても良いでしょう。3ヶ月毎の定期検査の度に視力(高および低コントラストで)、追加矯正視力、角膜形状解析、レンズの表面検査およびフルオレスセインでのフィッティング評価およびレンズ装用時および脱後のスリットランプ検査が行われます。視力、装用感、異物感および乾燥感についての自覚症状は、それぞれの定期検査の度に話し合わなければなりません。中央部のレンズ/頂点の接触の度合いについては特に注意を払います。レンズ/頂点の接触は、穏やかで、僅かな量の頂点クリアランスがあるべきであり、明らかな中央部での接触があってははいけません。もし、この関係に変化が起きればレンズは再処方されるべきです。もし、特にコーンのサイズが顕著に増加しているのであれば、同じデザインでスティープにするか、大きな直径への変更のいずれかを考慮します。次に示すフローチャートは、最初の定期検査でのフィッティング手順のガイドです。



深刻な痛みが発症したら、必ず直ちにあなたへ連絡してもらわなければなりません。急性角膜水腫の兆しかもしれません、適切な処置および専門医への紹介が必要かもしれません。

もし、あなたと連絡が取れない場合、患者は角膜の専門医に診てもらわなければなりません。これらの痛みの発症は、急性角膜水腫(角膜内皮ポンプの崩壊の結果、強い浮腫と痛みが発症)から生じているかもしれません、早期に診断することがより適切な解決のための鍵になります (Figure 58)。角膜水腫の早期の診断を行い、レンズの装用を中断させ、Muro 128 (B&L) のよう



Figure 58. 急性角膜水腫

な高浸透圧性点眼薬の点眼、さらに然る後に角膜専門医を紹介します。および角膜瘢痕が残るようなケースでは、回復の具合に応じて、全層角膜移植が考慮されます。処方パラメーターあるいは度数に変化が無くても、汚れの付着とレンズ傷の無い状態の確保のために、年ベースでレンズ交換を行います。

レンズの変更を必要とする合併症

次に示すテーブルは、再処方が必要とする臨床所見のリストです。

所見	可能性のある事象(再処方が必要とする。)																		
	角膜の菲薄化の進行	芳しくないレンズエッジ	角膜沈着物の増加	過剰なレンズの動き	角膜のステイプ化の増加	タイトな周辺部	フラットな周辺部	角膜離心率の増加	フラットなレンズフィッティング	過剰なエッジクリアランス	不正乱視の増加	収差の増加	レンズのセントラリング不良	小さすぎるレンズ直径	乾燥感の増加	大きなBOZD	小さなBOZD	角膜瘢痕の増加	角膜浮腫
角膜瘢痕の増加	■				■														
中央部接触の増加					■														
アクシャルエッジリフトの減少						■		■											
レンズ偏倚の増加								■	■										
レンズの動きの減少													■						
3-9時ステインの増加														■	■				
中央部のステインの増加								■											
中央部の気泡の増加																■			
周辺部の気泡の増加							■			■									
視力の低下											■	■						■	
フレアーの増加													■						
ハローの増加																			■
視力不安定の増加		■	■										■						
レンズの取り外しが困難					■														
レンズ装用における不快感あるいは痛み		■						■											

レンズデザインの変更

BOZRの変更

- BOZRをスティープあるいはフラットにする時、涙液層の変化を補正しコンタクトレンズのパワーを調節するために、曲率をミリメートルからディオプターに換算してください。
- フィッティングにおいての重要な変化に確実に気づくようにするために、BOZRを0.1mmステップで変えてください。
- 中央部の接触のパターンが受け入れられず、角膜頂点にダメージがあったりあるいはその可能性があるときは、BOZRをスティープにしてください。
- 中央部に気泡が存在し、瞬目でも気泡が消失せず視力に影響を及ぼしたり、あるいはレンズの固着が証明される場合には、BOZRをフラットにしてください。

BOZDの変更

- BOZDを増加あるいは減少させるとき、同じフィッティング関係を維持するために、BOZRをフラットあるいはスティープにすることによってレンズサグの変化を確実に補正してください。
- コーンの直径が増加している場合は、形状にうまく沿うように、(同じBOZRを維持し)BOZDを増加させてください。これは、レンズのサグを増加させます。
- 瞳孔域の上に気泡が有る場合には、コーンの周りのクリアランスを減少させコーンのサイズにうまく沿うようにするために、(同じBOZRを維持して)BOZDを減少させてください。これらのケースではレンズサグの変化および涙液層フィルムが変化するため、レンズの度数を調節してください。
- BOZRをスティープにすると、マイナス度数を強める必要が有ります。また、逆も同様です。

TDの変更

- BOZDに変更を加えないでレンズの直径を増加あるいは減少させると、あなたが、AELが維持されるように注文しない限り、結果として周辺クリアランスが増加したり減少したりします。
- レンズ直径の増加は、以下のケースで有益です。
 - コーンの直径が増加
 - レンズのセンタリング不良が始まったとき。
 - 3-9時ステインの証拠がある。
- もし、レンズのエッジがオーバーラップしなくとも輪部に近づく場合、レンズの直径を小さくするか、レンズの重量を減少させてください。エッジが直接輪部に位置すると刺激を起こす場合があります。

AELの変更

- 中央部のフルオレスセインパターンが、理想的で理想的なフィッティング関係を示している場合は、レンズのAELだけを調節してください。小さなBOZDを持つレンズではAELを増加させたり減少させたりすると、全体のサグに大きく影響を及ぼすため、サグの補正および調節が必要になります。
- レンズ周辺部での涙液交換を改善するためにAELを増加させる場合、BOZRは(通常0.1mm)スティープにしなければなりません。そのためマイナス度数が増すので、小さな光学ゾーン直径のレンズでは度数を調整しなければなりません。もしAELを減らす場合は(すなわち、もしレンズが高すぎる位置にあったり、あるいはレンズエッジが刺激する場合)、逆になります。

AELの部分的な変更

- 通常、コンタクトレンズの下方部分の調節は、レンズのフィッティングに影響しません。レンズを下方に位置させるためにプリズムバラストを付加すると装用感に影響するかもしれません。
- トーリックの周辺部はフィッティングに影響しません。そしてレンズの装用感を改善するかもしれません。

- PMDのケースでは、部分的な調節を考えてください。下方にコーンが偏倚しているためレンズの下方エッジが下眼瞼に刺激を起こす結果となるためと、大きな直径/大きなBOZDのためレンズの下方エッジが下眼瞼の下に入らない部位があるためです。

中心厚みの変更

- もし、レンズにたわみがあり、それがスティープ過ぎることから起こるのではなく、むしろ薄すぎることから起こっているのであれば、レンズの厚みを厚くしてください。通常0.02mmの変更で0.75Dのレンズフレクチャーを減少させるのに十分です。
- 著しい酸素透過量の低下を避けるために、十分高い酸素透過性の材料が使用されていることを確認してください。

レンズパワーの変更

- 4.00D以上の幅でレンズのマイナス度数を強める場合、レンズをレンティキュラーデザインにするかあるいはレンティキュラーの量を増やしてください。
- 残余乱視を矯正するとき、フロントトリックデザインは不正乱視に対してはうまく機能しないことがあります。

異なったレンズあるいはデザインへの処方変更

球面から非球面BOZDへ

- 球面光学ゾーンデザインから非球面光学ゾーンデザインに処方変更する際は、BOZRが0.10mmから0.15mmフラットになるよう調節してください。
- レンズのパワーは0.50から0.75Dプラスを加え補正してください。非球面光学デザインから球面デザインに変更する場合は、逆になります (Figure 59a および b)。

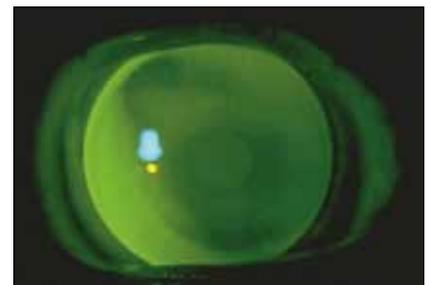
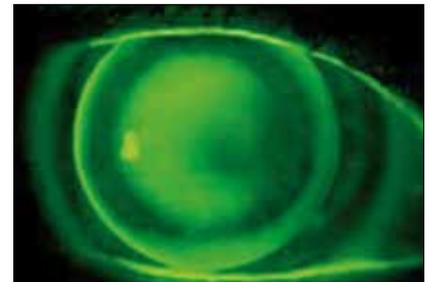


Figure 59a および 59b、球面から中央部非球面へ

球面から周辺非球面へ

- 球面周辺多段階カーブから周辺非球面に変更する場合は、アクシヤルエッジクリアランスを増加させる必要が有ります。さもないと、非球面の周辺部が角膜の形状により接近してフィットするため、フラットにする必要が有るかもしれません。(非球面から球面周辺多段階デザインに変更する場合は、逆になります。)(Figure 60a および b)。



Figure 60a および 60b、球面から周辺部非球面へ

固定BOZDから変動BOZDへ

- 固定BOZDのデザインから変動BOZDデザインに変更する場合は、レンズの曲率によりBOZDを増加あるいは減少させる必要があります。
- 変動BOZRデザインでは、レンズがスティープになればなるほど、BOZDは小さくなります。
- 同じフィッティング関係を維持するために、(もし、BOZDが大きい場合あるいは小さい場合、それぞれで)BOZRをフラットにあるいはス



Figure 61a および 61b、固定から変動へ

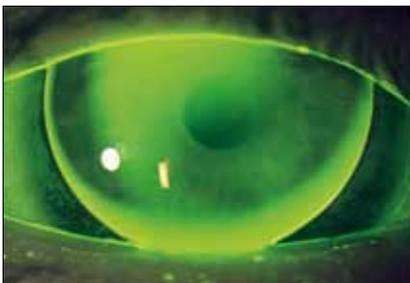


Figure 62a および 62b、角膜レンズからスクレラルレンズへ

ティープにすることによって、BOZDについて補正する必要があります。(Figure 61a および b)。

角膜レンズからセミスクレラルレンズへ

- レンズ直径の変更は、レンズのサグを相当に増加させてしまうということを考慮してください。そして、ずっとフラットなBOZRにすることでそれを補正する必要があります。レンズはこの場合、ベースカーブではなくむしろ角膜のサグに対してフィッティングすることになります。穏やかな3点接触に代わってレンズは強膜部分で接触し、角膜全体に渡って僅かな頂点クリアランスがあるフルオレスサインパターンを呈します。(Figure 62a および b)。

8. 合併症

角膜ステイン

次に示すステインを含め、円錐角膜用GPレンズの装用で、たくさんの形態の角膜ステインが確認できます。

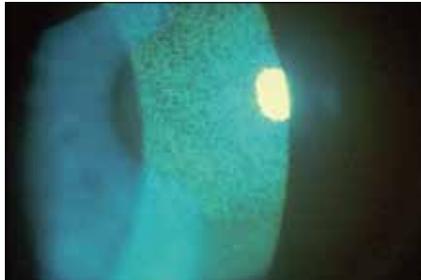


Figure 63. 溶液の毒性

溶液毒性からのステイン

溶液毒性からのステインは、GPレンズではまれです。しかし、クロロヘキシジン、チメロサルあるいはまれにポリヘキサニドおよびポリクオードを含めたある特定の防腐剤で起こることがあります。この反応は、これらの成分の濃度に依存します。そして、コンタクトレンズの下にびまん性の角膜ステインを起こすことがあります (Figure 63)。このステインがあるということはケアシステムを変更する必要があることを示しており、そして/あるいはレンズの装用の前に生理食塩水でリンスする必要があるかもしれません。また、レンズ潤滑用点眼薬および人工涙液が、この反応を引き起こすかもしれないことを考慮してください。そのような場合には防腐剤を含まない人工涙液等の補助点眼薬が必要になります。

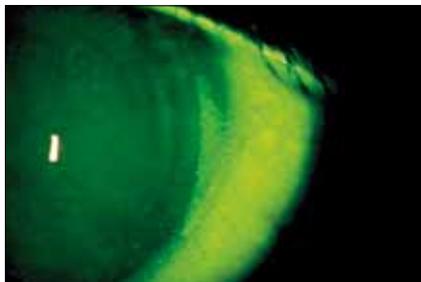


Figure 64. 3時-9時ステイン

3時-9時ステイン

3時-9時ステインは、レンズのフィッティングおよび眼表面に関する多くの複合した要因で起こります。4時-8時ステインは、レンズが下方に位置し、レンズの動きが無く瞬目が不完全な場合はよく発生します (Figure 64)。もし、レンズのエッジが厚い形状あるいは高いアクシャルエッジクリアランスである場合、レンズ周辺部に隣接する領域が乾燥しステインを起こします。もし、レンズが小さすぎる場合、露出している角膜は乾燥し、特にドライアイ患者においてステインが発生します。円錐角膜患者はアトピー症およびマイボーム腺の機能障害に伴うドライアイを呈していることがあり、両者とも周辺部のステインに関与します。これらの反応を対処してください。

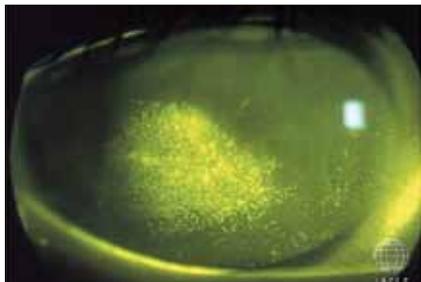


Figure 65. 融合した斑状ステイン

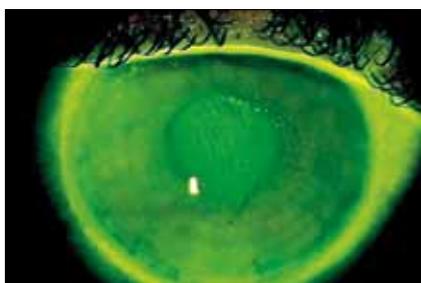


Figure 66. コーンの上の螺旋状ステイン: 小さすぎる直径およびスティープ(センタリング不良)

- レンズの直径を増加
- エッジ厚を減少させるためにフロント表面をレンチキュラーにしてください。
- エッジクリアランス及びセンタリングを適切にしてください。

眼瞼を清潔に管理し、ドライアイを適切に管理することが、適切な装用時間の確保のために非常に重要です。

異物あるいは擦過傷による斑点状あるいは線状ステイン

レンズ後面と角膜との接触が強すぎると角膜を擦ったり刺激するため、結合した斑点状のステインが観察されることがあります。異物が挟まることと共に、これらの状態は上皮を大きく傷害します。この問題を解決するためには、角膜形状およびレンズの後面形状を考慮してください。解決策にはレンズ後面の洗浄、周辺カーブのジャンクションの平滑化あるいは非球面デザインの検討が含まれます。

頂点ステイン

コンタクトレンズがフラット過ぎて頂点で接触し、さらに過剰な動き（頂点での回転）があると、頂点ステイン（通常、螺旋状のパターン）が起こります（Figure 66）。この継続的な刺激は癬痕化をもたらすことがあります（Figure 67）。これらの場合、角膜の頂点からレンズの圧力を解放することが有効です。

ディンプルベール

ディンプルベールは角膜表面上の気泡によってできる圧痕から作られます。それらは、長期的には生理学的に有意なものではありませんが、付帯的な症状として不快感を伴うことがあります。もし、それらが中心部に存在すると視力の邪魔になることがあります。レンズをはずすと、1時間半程度で気泡の跡は角膜表面から消失します。

- 頂点クリアランスの量を減少（気泡がコーンの上にある場合）
- BOZDを減少（気泡がコーンの周囲に存在する場合）
- アクシャルエッジクリアランスを減少（気泡がレンズの周辺に存在する場合）（Figure 68）

視力

コーンのサイズに比べBOZDが過剰に大きなレンズは頂点クリアランスが過剰となり、コーンの上あるいはその周りに気泡ができ、視力を妨げるかもしれません。BOZDが小さすぎるとセンタリング不良となり、その上フレアを伴い視力を低下させます。BOZDとコーンの直径を適合させることが、これらの視力の問題を解決します。

円錐角膜は、視力の質を落とす異常に高いレベルの高次収差、著しい球面収差およびコマ収差を持っています。前面非球面デザインによって収差の補正を試みると、患者によっては有益なことがあります。



Figure 67. コーンの癬痕



Figure 68. ディンプルベール



Figure 70. スティープ過ぎる周辺部（下方に偏倚）



Figure 71. 固着したレンズの圧痕

レンズのセンタリング不良

小さなBOZDのレンズが大きなコーンに組み合わせられると、レンズサゲが低いためレンズは滑り回り容易にセンタリング不良を起こします。同様に、周辺部がルーズな(高いエッジクリアランス)レンズは、往々にして上眼瞼によって引っ張り上げられセンタリング不良となります(Figure 69)。このルーズなフィッティングは視力性能に影響を及ぼし、生理学的な悪影響を招くかもしれません。低いアクシャルエッジクリアランスそして過剰な頂点クリアランスを持つレンズはしばしばコーンの頂点の位置に対し下方に偏倚し、不完全な瞬目および乾燥につながります。

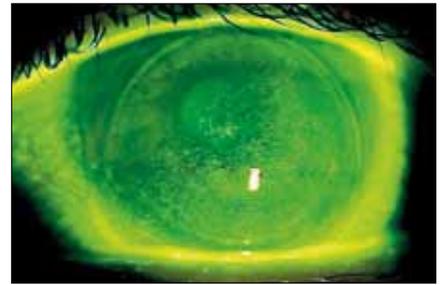


Figure 71. 固着したレンズの圧痕

角膜陥凹

レンズのフラットな周辺がよりフラットな角膜周辺部に沿っているとレンズはセンターからずれて偏倚します。あるいは一方、スチープな周辺は、レンズの動きを抑制します(そして、しばしば角膜に固着します)。レンズの固着は、通常レンズの就寝時装用で起こります。しかし、円錐角膜患者では、レンズと角膜との間に適切な涙液フィルムが無い場合終日装用でもレンズの固着が発生します。涙液層の水成分が押し出され、ムチン層がレンズと角膜の間で粘着剤として作用します。このような場合にはレンズのフィッティングを変更するほか、レンズを濡らし動きを助けるために人工涙液点眼を終日行うべきです(Figure 71)。

9. 参考文献

- Al Mezaine HS, Al Amro SA, Kangave D, et al. Comparison between central corneal thickness measurements by oculus pentacam and ultrasonic pachymetry. *Int Ophthalmol* 2008;28:333–8.
- Aldave AJ, Yellore VS, Salem AK, et al. No VSX1 gene mutations associated with keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:2820–2.
- Ang M, Mehta JS, Arundhati A, Tan DT. Anterior Lamellar Keratoplasty Over Penetrating Keratoplasty for Optical, Therapeutic, and Tectonic Indications: A Case Series. *Am J Ophthalmol* 2008.
- Auffarth GU, Wang L, Volcker HE. Keratoconus evaluation using the Orbscan Topography System. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:222–8.
- Bahar I, Kaiserman I, Srinivasan S, et al. Comparison of three different techniques of corneal transplantation for keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2008;146:905–12.
- Betts AM, Mitchell LG, Zadnik K. Visual performance and comfort with the Rose K lens for keratoconus. *Optom Vis Sci* 2002;79:493–501.
- Bilgihan K, Ozdek SC, Sari A, Hasanreisoglu B. Microkeratome-assisted lamellar keratoplasty for keratoconus: stromal sandwich. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1267–72.
- Binder PS, Lindstrom RL, Stulting RD, et al. Keratoconus and corneal ectasia after LASIK. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2035–8.
- Brancati F, Valente EM, Sarkozy A, et al. A locus for autosomal dominant keratoconus maps to human chromosome 3p14–q13. *J Med Genet* 2004;41:188–92.
- Brennan NA, Efron N, Carney LG. Critical oxygen requirements to avoid oedema of the central and peripheral cornea. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1987;65:556–64.
- Burger D, Zadnik K. *Keratoconus: Contact Lenses for Pre- and Post-Surgery*. St. Louis, Missouri. Mosby, 1997;21-52.
- Cheng AC, Rao SK, Lau S, et al. Central corneal thickness measurements by ultrasound, Orbscan II, and Visante OCT after LASIK for myopia. *J Refract Surg* 2008;24:361–5.
- Colin J, Velou S. Current surgical options for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:379–86.
- Crews MJ, Driebe WT, Stern GA. The clinical management of keratoconus: a 6 year retrospective study. *CLAO J* 1994;20:194–7.
- Dao CL, Kok JH, Brinkman CJ, van M. Corneal eccentricity as a tool for the diagnosis of keratoconus. *Cornea* 1994;13:339–44.
- de Brabander, Chateau N, Marin G, et al. Simulated optical performance of custom wavefront soft contact lenses for keratoconus. *Optom Vis Sci* 2003;80:637–43.
- DeNaeyer GW, Breece R. Fitting techniques for a scleral lens design. *Contact Lens Spectrum* 2009;34–7.
- Donshik P, et al. The Use of Computerized Videokeratography as an aid in Fitting Rigid Gas Permeable Contact Lenses. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1996;XCIV:135–45.
- Dupps WJ, Wilson SE. Biomechanics and wound healing in the cornea. *Exp Eye Res* 2006;83:709–20.
- Edrington TB, Barr JT, Zadnik K, et al. Standardized rigid contact lens fitting protocol for keratoconus. *Optom Vis Sci* 1996;73:369–75.
- Edrington TB, Szczotka LB, Barr JT, et al. Rigid contact lens fitting relationships in keratoconus. Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study Group. *Optom Vis Sci* 1999;76:692–9.

- Edrington TB, Szczotka LB, Begley CG, et al. Repeatability and agreement of two corneal-curvature assessments in keratoconus: keratometry and the first definite apical clearance lens (FDACL). CLEK Study Group. Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus. *Cornea* 1998;17:267-77.
- Ertan A, Kamburoglu G. INTACS implantation using a femtosecond laser for management of keratoconus: Comparison of 306 cases in different stages. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1521-6.
- Galin M, Berger R. Atopy and Keratoconus. *Am J Ophthalmol* 1958;45:904-6.
- Gasset AR, Lobo L. Dura-T semiflexible lenses for keratoconus. *Ann Ophthalmol* 1975;7:1353-7.
- Gemoules G. A novel method of fitting scleral lenses using high resolution optical coherence tomography. *Eye Contact Lens* 2008;34:80-3.
- Giasson CJ, Perreault N, Brazeau D. Oxygen tension beneath piggyback contact lenses and clinical outcomes of users. *CLAO J* 2001;27:144-50.
- Girard LJ, Soper JW. Indications for contact lenses or keratoplasty in keratoconus. *Ophthalmologica* 1965;150:161-6.
- Gonzalez-Mejome JM, Jorge J, de A, Parafita MA. Soft contact lenses for keratoconus: case report. *Eye Contact Lens* 2006;32:143-7.
- Gundel RE, Libassi DP, Zadnik K, et al. Feasibility of fitting contact lenses with apical clearance in keratoconus. *Optom Vis Sci* 1996;73:729-32.
- Haque S, Jones L, Simpson T. Thickness mapping of the cornea and epithelium using optical coherence tomography. *Optom Vis Sci* 2008;85:E963-E976.
- Haque S, Simpson T, Jones L. Corneal and epithelial thickness in keratoconus: a comparison of ultrasonic pachymetry, Orbscan II, and optical coherence tomography. *J Refract Surg* 2006;22:486-93.
- Hom MM. Another perspective on keratoconus contact lens fitting. *J Am Optom Assoc* 1986;57:886-8.
- Hood A. Advanced contact lens fitting: part 3 - hospital contact lens practice. *Optician* 1997;214:16-22.
- Hughes AE, Dash DP, Jackson AJ, et al. Familial keratoconus with cataract: linkage to the long arm of chromosome 15 and exclusion of candidate genes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44:5063-6.
- Hutchings H, Ginisty H, Le G, et al. Identification of a new locus for isolated familial keratoconus at 2p24. *J Med Genet* 2005;42:88-94.
- Kaluzny BJ, Fojt W, Szkulmowska A, et al. Spectral optical coherence tomography in video-rate and 3D imaging of contact lens wear. *Optom Vis Sci* 2007;84:1104-9.
- Kaluzny BJ, Kaluzny JJ, Szkulmowska A, et al. Spectral optical coherence tomography: a new imaging technique in contact lens practice. *Ophthalmic Physiol Opt* 2006;26:127-32.
- Karabatsas CH, Cook SD. Topographic analysis in pellucid marginal corneal degeneration and keratoglobus. *Eye* 1996;10 (Pt 4):451-5.
- Kayazawa F, Nishimura K, Kodama Y, et al. Keratoconus with pellucid marginal corneal degeneration. *Arch Ophthalmol* 1984;102:895-6.
- Kenney MC, Chwa M, Atilano SR, et al. Increased levels of catalase and cathepsin V/L2 but decreased TIMP1 in keratoconus corneas: evidence that oxidative stress plays a role in this disorder. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:823-32.
- Kohlhaas M, Spoerl E, Schilde T, et al. Biomechanical evidence of the distribution of cross-links in corneas treated with riboflavin and ultraviolet A light. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:279-83.
- Kok JH, van M. Piggyback lenses in keratoconus. *Cornea* 1993;12:60-4. Korb DR, Finnemore VM, Herman JP. Apical changes and scarring in keratoconus as related to contact lens fitting techniques. *J Am Optom Assoc* 1982;53:199-205.
- Krachmer JH, Feder RS, Belin MW. Keratoconus and related noninflammatory corneal thinning disorders. *Surv Ophthalmol* 1984;28:293-322.

- Krachmer JH. Eye rubbing can cause keratoconus. *Cornea* 2004;23:539-40.
- Kymionis G, Portaliou D. Corneal crosslinking with riboflavin and UVA for the treatment of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1143-4.
- Kymionis GD, Siganos CS, Tsiklis NS, et al. Long-term follow-up of INTACS in keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2007;143:236-44.
- Lawless M, Coster DJ, Phillips AJ, Loane M. Keratoconus: diagnosis and management. *Aust NZ J Ophthalmol* 1989;17:33-60.
- Lee BW, Jurkunas UV, Harissi-Dagher M, et al. Ectatic disorders associated with a claw-shaped pattern on corneal topography. *Am J Ophthalmol* 2007;144:154-6.
- Lee LR, Readshaw G, Hirst LW. Keratoconus: the clinical experience of a Brisbane ophthalmologist. *Ophthalmic Epidemiol* 1996;3:119-25.
- Lee R, Ahmed I. Anterior segment optical coherence tomography: Non-contact high resolution imaging of the anterior chamber. *Techniques in Ophthalmology* 2006;4:120-7.
- Leung KK. RGP fitting philosophies for keratoconus. *Clin Exp Optom* 1999;82:230-5.
- Li X, Rabinowitz YS, Tang YG, et al. Two-stage genome-wide linkage scan in keratoconus sib pair families. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:3791-5.
- Lim L, Wei RH, Chan WK, Tan DT. Evaluation of keratoconus in Asians: role of Orbscan II and Tomey TMS-2 corneal topography. *Am J Ophthalmol* 2007;143:390-400.
- Lu F, Simpson T, Fonn D, et al. Validity of pachymetric measurements by manipulating the acoustic factor of Orbscan II. *Eye Contact Lens* 2006;32:78-83.
- Mackie IA. Management of keratoconus with hard corneal lenses: The lens lid attachment technique. *Trans Ophthalmol Soc U K* 1977;97:131-5.
- Maguire LJ, Klyce SD, McDonald MB, Kaufman HE. Corneal topography of pellucid marginal degeneration. *Ophthalmology* 1987;94:519-24.
- Mandell RB. Contemporary management of keratoconus. *Int Contact Lens Clin* 1997;24:43-58.
- Mannis MJ, Zadnik K. Contact lens fitting in keratoconus. *CLAO J* 1989;15:282-9.
- Marsack JD, Parker KE, Applegate RA. Performance of wavefront-guided soft lenses in three keratoconus subjects. *Optom Vis Sci* 2008;85:E1172-E1178.
- Matsuda J, Hieda O, Kinoshita S. Comparison of central corneal thickness measurements by Orbscan II and Pentacam after corneal refractive surgery. *Jpn J Ophthalmol* 2008;52:245-9.
- Mazzotta C, Balestrazzi A, Traversi C, et al. Treatment of progressive keratoconus by riboflavin-UVA-induced crosslinking of corneal collagen: ultrastructural analysis by Heidelberg Retinal Tomograph II in vivo confocal microscopy in humans. *Cornea* 2007;26:390-7.
- McMonnies CW. Keratoconus fittings: apical clearance or apical support? *Eye Contact Lens* 2004;30:147-55.
- McMonnies CW. The evidentiary significance of case reports: eye rubbing and keratoconus. *Optom Vis Sci* 2008;85:262-9.
- Moezzi AM, Fonn D, Simpson TL, Sorbara L. Contact lens-induced corneal swelling and surface changes measured with the Orbscan II corneal topographer. *Optom Vis Sci* 2004;81:189-93.
- Nilforoushan MR, Speaker M, Marmor M, et al. Comparative evaluation of refractive surgery candidates with Placido topography, Orbscan II, Pentacam, and wavefront analysis. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:623-31.
- Norman C, Caroline PJ. Step-by-step approach to managing keratoconus patients with RGPs. *Contact Lens Forum* 1986;11:25-31.
- O'Donnel C, Codina CM. A hyper-Dk piggyback contact lens system for keratoconus. *Eye Contact Lens* 2004;30:44-8.

- Owen H, Watters GA. An evaluation of the keratoconic cornea using computerised corneal mapping and ultrasonic measurements of corneal thickness. *Ophthalmic Physiol Opt* 1996;16:115–23.
- Ozkurt YB, Sengor T, Kurna S, et al. Rose K contact lens fitting for keratoconus. *Int Ophthalmol* 2007.
- Paik DC, Wen Q, Braunstein RE, et al. Initial Studies Using Aliphatic Nitro Alcohols for Therapeutic Corneal Crosslinking. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008.
- Parker J, Ko WW, Pavlopoulos G, et al. Videokeratography of keratoconus in monozygotic twins. *J Refract Surg* 1996;12:180–3.
- Paul T, Lim M, Starr CE, et al. Central corneal thickness measured by the Orbscan II system, contact ultrasound pachymetry, and the Artemis 2 system. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1906–12.
- Rabinowitz Y, Dong L, Wistow G. Gene expression profile studies in human keratoconus cornea for NEIBank. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:1239–46.
- Rabinowitz YS, Garbus JJ, Garbus C, McDonnell PJ. Contact lens selection for keratoconus using a computer assisted videophotokeratoscope. *CLAO J* 1991;17:88–93.
- Rabinowitz YS, Rasheed K, Yang H, Elashoff J. Accuracy of ultrasonic pachymetry and videokeratography in detecting keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:196–201.
- Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol* 1998;42:297–319.
- Raiskup-Wolf F, Spoerl E. Reply: Long-term results of collagen crosslinking with riboflavin and UVA in keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1617.
- Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, Stulting RD. Risk assessment for ectasia after corneal refractive surgery. *Ophthalmology* 2008;115:37–50.
- Rao SN, Raviv T, Majmudar PA, Epstein RJ. Role of Orbscan II in screening keratoconus suspects before refractive corneal surgery. *Ophthalmology* 2002;109:1642–6.
- Rose P. Improving a keratoconus lens design. *Contact Lens Spectrum* 2005;20:38–42.
- Shapiro MB, France TD. The ocular features of Down's syndrome. *Am J Ophthalmol* 1985;99:659–63.
- Shovlin JP. Primary Eyecare: Contact lens “fits” over problem eyes. Vol. 3. 1984;67–9.
- Sindt CW. Basic scleral lens fitting and design. *Contact Lens Spectrum* 2008;23:32–6.
- Sonmez B, Doan MP, Hamilton DR. Identification of scanning slit-beam topographic parameters important in distinguishing normal from keratoconic corneal morphologic features. *Am J Ophthalmol* 2007;143:401–8.
- Sorbara L, Chong T, Fonn D. Visual acuity, lens flexure, and residual astigmatism of keratoconic eyes as a function of back optic zone radius of rigid lenses. *Cont Lens Anterior Eye* 2000;23:48–52.
- Sorbara L, Fonn D, Holden BA, Wong R. Centrally fitted versus upper lid-attached rigid gas permeable lenses: part I. design parameters affecting vertical decentration. *Int Cont Lens Clin* 1996;23:99–104.
- Sorbara L, Fonn D, Holden BA, Wong R. Centrally fitted versus upper lid-attached rigid gas permeable lenses: part II. a comparison of the clinical performance. *Int Cont Lens Clin* 1996;23:121–7.
- Sorbara L, Luong J. Contact lens fitting guidelines for the keratoconic patient using videokeratographic data. *Practical Optometry* 1999;10:238–43.
- Sridhar MS, Mahesh S, Bansal AK, et al. Pellucid marginal corneal degeneration. *Ophthalmology* 2004;111:1102–7.
- Steele C. Contact lens fitting today – fitting for the irregular cornea. *Optometry Today (UK)* 2005;45:32–9.
- Szczotka LB, Thomas J. Comparison of axial and instantaneous videokeratographic data in keratoconus and utility in contact lens curvature prediction. *CLAO J* 1998;24:22–8.
- Tabbara KF, Kotb AA. Risk factors for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology* 2006;113:1618–22.
- Tan BU, Purcell TL, Torres LF, Schanzlin DJ. New surgical approaches to the management of keratoconus and post-LASIK ectasia. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2006;104:212–20.

- Tang M, Shekhar R, Miranda D, Huang D. Characteristics of keratoconus and pellucid marginal degeneration in mean curvature maps. *Am J Ophthalmol* 2005;140:993–1001.
- Teng C. Electron microscope study of the pathology of Keratoconus: Part 1. *Am J Ophthalmol* 1963;55:18–47.
- Trimarchi F, Poppi E, Klersy C. [Deep lamellar keratoplasty]. *J Fr Ophtalmol* 2002;25:718–21.
- Tsubota K, Mashima Y, Murata H, Yamada M. A piggyback contact lens for the correction of irregular astigmatism in keratoconus. *Ophthalmology* 1994;101:134–9.
- Tyynismaa H, Sistonen P, Tuupanen S, et al. A locus for autosomal dominant keratoconus: linkage to 16q22.3–q23.1 in Finnish families. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:3160–4.
- Visser ES, Visser R, van Lier HJJ, Otten HM. Modern scleral lenses, Part I: Clinical features. *Eye Contact Lens* 2007;33:13–20.
- Visser ES. Advanced contact lens fitting: part 5 – the scleral contact lens – clinical indications. *Optician* 1997;214: 15–20.
- Wang Y, Rabinowitz YS, Rotter JI, Yang H. Genetic epidemiological study of keratoconus: evidence for major gene determination. *Am J Med Genet* 2000;93:403–9.
- Ward MA, Artunduaga G, Thompson KP, et al. Phototherapeutic keratectomy for the treatment of nodular subepithelial corneal scars in patients with keratoconus who are contact lens intolerant. *CLAO J* 1995;21:130–2.
- Wasserman D, Itzkowitz J, Kamenar T, Asbell P. Corneal topographic data: its use in fitting aspheric contact lenses. *CLAO J* 1992;18:83–5.
- Wei RH, Lim L, Chan WK, Tan DT. Evaluation of Orbscan II corneal topography in individuals with myopia. *Ophthalmology* 2006;113:177–83.
- Winkler T. Corneo-scleral rigid gas permeable contact lens prescribed following penetrating keratoplasty. *Int Cont Lens Clin* 1998;25:86–8.
- Wollensak G, Sporl E, Reber F, et al. Corneal endothelial cytotoxicity of riboflavin/UVA treatment in vitro. *Ophthalmic Res* 2003;35:324–8.
- Wollensak G. Crosslinking treatment of progressive keratoconus: new hope. *Curr Opin Ophthalmol* 2006;17:356–60.
- Woodward E. The role of rigid contact lenses in the management of keratoconus. *J Brit Contact Lens Assoc* 1991;14:211–7.
- Zadnik K, Barr JT, Edrington TB, et al. Baseline findings in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998;39:2537–46.
- Zadnik K, Barr JT, Steger-May K, et al. Comparison of flat and steep rigid contact lens fitting methods in keratoconus. *Optom Vis Sci* 2005;82:1014–21.
- Zadnik K, Mutti DO. Contact lens fitting relation and visual acuity in keratoconus. *Am J Optom Physiol Opt* 1987;64:698–702.
- Zadnik K. Meet the challenge of fitting the irregular cornea. *Rev Optom* 1994;131:77–83.

病因および遺伝

原因と症状との間の正確な関係は、まだ解明されていません。次に示すような要因を含め、多くの要因が円錐角膜に付帯しています。

- 目を擦る
- コンタクトレンズの装用
- アレルギーおよび/またはアトピー症
- ダウン症候群
- 結合織障害
- 家族性

Rabinowitz(1998)は大多数の円錐角膜患者が眼を擦ることを見いだしました:正常な人口で報告される58%に対し80%。その報告によれば円錐角膜患者の44%そして正常人口の36%がアレルギーを持っていました。同様に円錐角膜患者の15%、正常な人口の12%が関節可動性に問題がありました。正常人口の0.5%に比べ、円錐角膜患者の10%が家族歴(一人あるいはそれ以上)に円錐角膜患者を認めました。

9つの染色体が円錐角膜に関係していることが報告されています。そして次に含めた多くの数値は、原因が遺伝的なものであるかもしれないことを示唆しています。

- 両側性
- 角膜形状パターン(ビデオケラトスコーピーでの観察)
- 家族歴(10から23%との報告)
- 家族集積性
- 双子での研究 – 同じ遺伝形質を持つ一卵性双生児での一致
- 分離分析(比率 = 同胞グループの中で病気を発現した個体数を分数で表したもの)
- 遺伝子連鎖および発現についての研究

リシルオキシダーゼ(リシル酸化酵素)(LOX) 遺伝子は、コラーゲン架橋の役目を演じます。そして突然変異すると円錐角膜で役目を演じるかもしれません。遺伝子発現の研究は、円錐角膜患者の角膜上皮でアクアポリン5(創傷治癒の役目をする水分子の選択透過遺伝子)抑制を発見しました。これは、かつて円錐角膜で確認された中で最初の分子生物学的欠損でした。

他方、環境要因がこの病気の発現の原因であると示唆するいくつかの研究があります。

Kenney等(IOVS 2005)は、角膜における酸化ストレスが、この病気において角膜の菲薄化を結果として招くことを示しました。このストレスは、アポトーシスの増加と機械的な不安定性を生じます。分解酵素の活性化は、また過剰な炎症および角膜実質混濁に至る異常な創傷治癒制御を導きます。Dupps、Randleman、Binder、RabinowitzやTabbara等によるLASIK後角膜拡張症の研究で、この経路のさらなる研究が報告されています。それらによると、手術自体が異常な細胞機能および角膜の薄化を導く過酸化物質、過酸化水素そして一酸化窒素のような異常な抗酸化酵素の蓄積を起こす角膜の酸化ストレスの原因であるとしています。

また、円錐角膜の病因が、角膜上皮(外胚葉)における欠陥なのかあるいは角膜実質層(間葉あるいはコラーゲン)の欠陥であるのかどうかという論議もあります。欠陥が角膜上皮基底に最初に起き、続いて角膜実質に欠陥が起きるのか、あるいは逆なのかという論議がありますが結局は両方の層が影響を受けるようです。

複数の遺伝子が円錐角膜に関係しており、それらの全てが共通の経路に関わっていて、そしてそれらが機械的要因と組み合わせられた時、病気を誘発すると考えるのが妥当なようです。

円錐角膜の手術による矯正

全層角膜移植

これは、最も頻繁に行われる手術で、円錐角膜患者の26%に行われています。80%から90%の成功率です。術式には、ホストから8mmの角膜ボタン(角膜全層)そしてドナーから8.25mmのボタンの切除が含まれます。手術は、4から8本の単結紮縫合を含む二重連続縫合テクニックを使用し行われます(Figure 1)。6週間から6ヶ月後、患者には通常この手術で生じる乱視の矯正のためにコンタクトレンズが処方されます。移植組織の拒絶反応の発生率は18%で、ほとんどが手術前のホスト角膜の血管新生のためのものです。

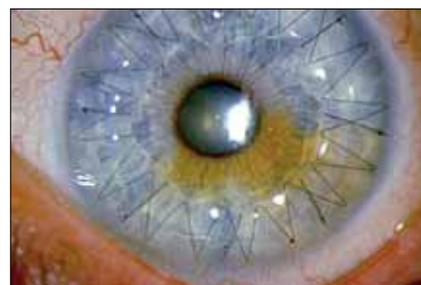


Figure 1. 縫合を伴うPKP

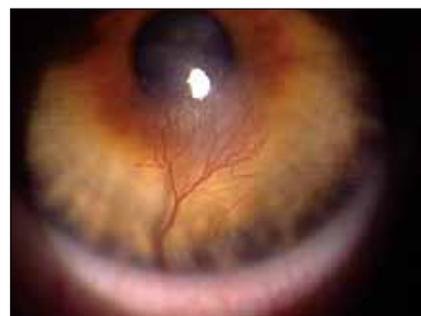


Figure 2. 円錐角膜と血管新生

表層角膜移植(部分的な厚さ)

深部表層角膜移植

この手術では、ホストの角膜上皮と角膜実質の90%以上が除去(層状切開)され、デスメ膜が除去されたドナーの全層角膜に置き換えられます。この手術では、角膜内皮を喪失することはないので角膜内皮の拒絶反応が起きません。また、この手術では、構造的整合性が維持され、乱視を減少させそして早期の抜糸を可能にします。不幸にも、非常に厚い角膜は、後方突出および境界面での混濁をおこし、結果として最良矯正視力を低下させてしまいます。

不同厚表層角膜移植

この手術の目的は、通常の角膜厚を再建するためのものです。ホストの角膜は、200ミクロンにまで薄くされ、ドナーの角膜は400ミクロンにされます。そして深層角膜移植と同じ方法で手術が行われます。これまでの報告によると、その結果は、今のところ深層角膜移植より良好で、著者等はこのテクニックは症例によっては全層角膜移植の代替術として適切であると感じています(Tan等, 2006)。

層間表層角膜移植

マイクロケラトームがホスト角膜に9mmのフラップを切開するために使用されます。そして、ドナーの角膜片が7.0mmから7.5mmのトレパンで切開されます。ドナーのボタンは、ホストの角膜実質の床の上に縫合されます。この手術は、層間表層組織挿入術と呼ばれます。6ヶ月後に、PRKあるいはLASIKが残余乱視の矯正のために行われます。

別の方法では、Intralase® Laserを使用してホストの角膜に、10mmの層状ポケットが作られます。直径9mmで厚み200から300ミクロンのドナーのボタンがその角膜実質ポケットの中に挿入されます。不幸にも、この方法では、結果として境界面に残渣が残り、軽度の浮腫および100から200ミクロンの角膜厚の増加が起こります。

INTACS®

INTACS® insertsは精密に旋盤加工されたポリメチルメタクリレート (PMMA)の150°の円弧物です (Figure 3)。Intralase®レーザーを使用してINTACS®が挿入される溝を作ります。下方に入れる円弧物は厚くできており(0.45mm径で8.1mmの曲率)、「リフト」を作ります。そして上方の円弧物は薄く作られていて(0.25mm径で6.8mmの曲率)、角膜をフラットにします。

INTACS®は、次に示す場合、より好結果をもたらします。:

- 下方に偏倚した初期から中等度のコーン(ペルーシド角膜変性症 (PMD)におけるような)
- 等価球面度数が<-5.00Dで、ケラト値が<54.00D(6.25mm)の場合
- 最もスティーブな屈折経線に切開が位置する場合
- 視軸の上にくわめてわずかな瘢痕化がある場合

それは取り除きも交換も可能です。その手技は低侵襲性であり、期待される角膜のフラット化は裸眼視力を改善するかもしれません。欠点はINTACS®が入っている状態で、角膜の歪みあるいは/また未矯正の屈折異常が残っていると、コンタクトレンズのフィッティングを一層難しくすることです。

架橋剤

0.1%リン酸リボフラビンおよび20%デキストランT500溶液で角膜コラーゲンの架橋を行うテクニックが、進行性の円錐角膜のための治療の選択肢として、現在では利用可能です。光増感性物質(C3-R®)およびUV-A光を使用して角膜実質の繊維の光重合を通して角膜実質のコラーゲンの剛性あるいは機械的強度を増加させるというテクニックです。この処置は、軽度から中等度の円錐角膜患者(最小限、中心厚400ミクロン)に利用でき、局所麻酔での日帰り手術が基本で、約1時間かかります。

角膜上皮を9mm径の領域で取り除いた後、UV-A照射の5分前にリボフラビン溶液を滴下し、そしてその後30分経つまで5分毎に滴下します。角膜(7mmの領域)はUV-Aに30分間暴露されます。処置後、抗生物質が塗布され、角膜上皮を取り除いた部分が完全に治癒するまで、角膜表面の保護のためにバンデージコンタクトレンズが処方されます。

これは、恒久的な処置ですが、剛性強化の効果は退行するので、再処置が必要になるかもしれないことに注意する必要があります。多くの研究は豚あるいは兎の眼を使って行われており、それらによると架橋効果は角膜の深さ全体にわたって均一ではなく、UV光が角膜前面で多く吸収されるため、剛性強化の効果は角膜の前面200から300ミクロンに集中していると結論づけています。人間の眼での長期の結果は、いくらかの見込みを示してはいますが、処置した患者の50から60%で一ライン以上の最高矯正視力の改善があったものの、3年間視力レベルを維持することができたのは20から29%に過ぎませんでした。共焦点顕微鏡を用いての研究によると、引き起こされた角膜実質浮腫が消失し、角膜実質細胞が再配置されるのに3から6ヶ月かかることが示されています。350ミクロンを超える深い角膜実質へは処置による効果が及んでいないようであり、角膜内皮細胞密度および形状には変化はありませんでした。400ミクロンより薄い動物の角膜では、UV-Aと架橋剤の組み合わせで角膜内の細胞毒性を示し、薄い角膜については、この方法は有益ではないことを示唆しています。



Figure 3. INTACS, 白色光

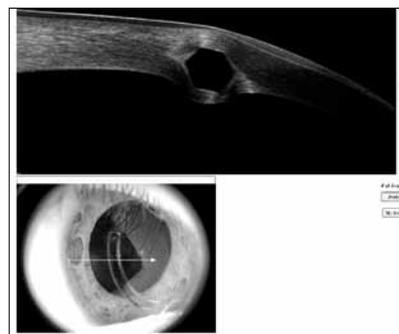


Figure 4. INTACSの断面のRTVueイメージ

Orbscan IIの使用による円錐角膜の診断

Orbscan IIは光の三角測量方式を含む数学的なプロセスで角膜表面の前後面を検出するための走査型スリット写真撮影テクニックを使用した装置です。それは、中間周辺部で角膜表面に(ゼロエレベーション)最良のフィッティングをする特定曲率の球を選択し、角膜各部の高さがその最良フィット球面(BFS)に対し上下どちらかに位置するかをミクロンあるいはmmの単位で表します(Figure 1)。BFSに関連して、これらのエレベーションマップは、角膜の特徴が標準の範囲に入っているかどうかを区別するため、次のような指標などを使って解釈されます。

- 最も薄い角膜厚のポイントが、 <470 ミクロン
- 中央部7mm部と最薄ポイント部での角膜厚の差が、 >100 ミクロン
- マップの中央から2.5mm曲率外側で最も角膜厚が薄いポイント
- 最大の平均角膜曲率パワー(中央部7mm以内) $>45.50D(7.42mm)$
- 前面側タンジェンシャルマップでの壊れた/不均一な/非対称性の「蝶ネクタイ」
- 中央部3mmの領域の前面側のアクシャルパワーの違いが $>3.00D$
- 後面側の最良フィット球面(BFS)曲率が $\geq 55.00D(6.14mm)$
- 中央部5mmの最大後面エレベーションが >50 ミクロン
- 前面および後面のエレベーションマップでの湾曲/歪んだ非対称性
- 前面エレベーションの最大位置が、 $(+/-1mm)$ で最大後面エレベーションの位置あるいは最大前面タンジェンシャル曲率の位置あるいは最小角膜厚ポイントの位置に相当する。
- 前面エレベーションおよび後面エレベーションの高いポイントが下方/耳側に位置する
- 後面BFS曲率(mm)に対する前面BFS曲率(mm)の比率が >1.2

初期の円錐角膜の最も良い指標は、角膜中央部の後面エレベーションが40から50ミクロンより大きいことであることが複数の研究で示されています。



Figure 1. 最良フィット球面(BFS)でのOrbscan IIのエレベーションマップ

セミ- およびミニ- スクレラ ルレンズのフィッティング

14.5から18.2mmの大きな直径のレンズは、角膜サグ測定を使用することで最良のフィッティングを得られます。Visante OCTには、前眼部を画像化(可視化)するスペクトルドメイン形状解析が用いられており、臨床医はソフトウェアの測定キャリパーを使用することで、どの長さの弦であつても角膜サグをマニュアル測定できます。現在の角膜形状解析装置へも新しい改良によって角膜サグを測定する機能が組み込まれています。この測定は、特に進行した円錐角膜患者(あるいは、術後患者)の最初のトライアルレンズを選択するのに役立ちます。MSDレンズにはサグ測定値が付与されているので角膜サグとトライアルセットの適合を容易にします。サグが与えられていない他のレンズではレンズ直径、e値そして中央部の曲率(先に示した計算式で)からサグ高をマニュアルで計算することができます。あるいは中心部のK値あるいは角膜乱視に基づくフィッティングノモグラムが提供されるでしょう。これらのレンズのフィッティングを評価する際には、レンズを装用させる前に、レンズの内側のくぼみに満たす生理食塩水あるいは防腐剤を含まないウェット剤へフルオレスセインを加えることを忘れないでください。

中央部のサジタルデプスフィッティング

コンタクトレンズのサジタルデプスが角膜のサグより小さい時、レンズはフラットなフィッティングとなります(Figure 1)。輪部-強膜の接合部上で高い周辺クリアランスを持つ過剰にフラットなフィッティングは、結果としてFigure 2に見られるようにその部分に気泡の発生を招きます。角膜のサグよりサジタルデプスが過剰に大きい場合、角膜クリアランスが過剰となり、Figure 3のように通常大きな気泡が中央部に発生します。コンタクトレンズのサジタルデプスを減少させると、中央部に存在する気泡を軽減できます。角膜サグとレンズのサグを突合せせることが、結果として角膜上で若干スティープなアライメントのフィッティングをもたらします。

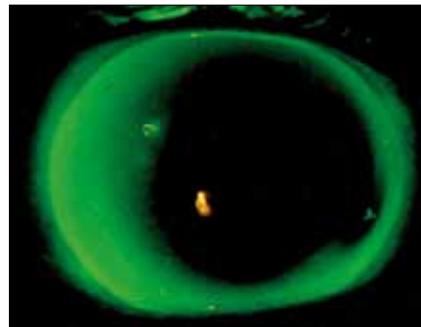


Figure 1. フラットなレンズ

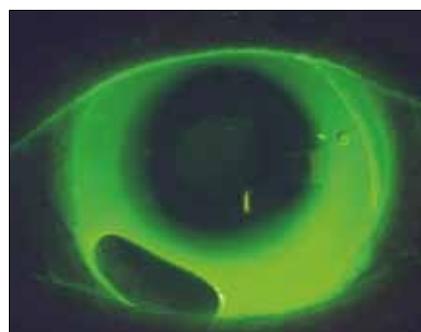


Figure 2. 周辺部に気泡を伴うフラットなレンズ。



Figure 3. 中央部に気泡を伴うスティープなレンズ

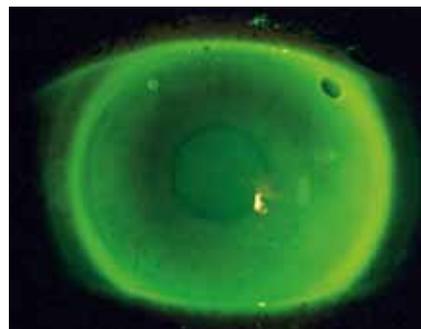


Figure 4. 理想的なフィッティング

中間周辺部あるいは輪部領域のフィッティング

フルオレスセインで観察されるとき、輪部領域の上にあるレンズの中間周辺部の部分にクリアランスがなければなりません。この領域でのレンズの接触は、擦過傷および装用感不良を起こします。一方クリアランスが過剰な場合、結果として気泡の発生を招き、気泡は角膜の乾燥を起こすかもしれません。レンズの中間周辺部が、(過剰な接触がある場合)フラットにされ、また(気泡がある場合)スティープにされます。また、レンズの直径は、一種以上の直径が選択できる場合は、(過剰な接触があるとき)大きくされ、あるいは(気泡がある場合には)小さくします。

スクレラルフィッティングゾーン

レンズのスクレラルゾーンは、装用感を最良にし、(たとえ、コンタクトレンズを取り外す器具が使用される場合であっても、たとえばDMV)レンズの取り外しを容易にするために、過剰なクリアランスを作らぬようにまた固着を起こさないように、結膜に沿うようにアライメントフィッティングされます。スクレラルゾーンがスティープ過ぎ、結膜に固着する場合、結膜血管がレンズのエッジ/結膜の接合部で青白くなります。輪部とレンズエッジの間の部分に腫脹があるかもしれません、それはレンズをはずした後に明らかです。この場合、周辺をフラットにしなければなりません、周辺部が過剰にフラットにならないように注意してください。過剰にフラットな周辺部は、装用感が不良となりレンズが偏位する可能性がありますので避けなければなりません。

補足E

フィッティングの例

フィッティング例: センターコーンあるいはニップルコーン(初期段階)

患者SP、年齢17歳、視力不良の主訴で来院、最近眼鏡の処方を変更したにもかかわらず特に夜間の視力不良を訴える。この患者は、アレルギーの病歴があり、時々ドライアイ症状のために点眼薬を使用。病歴(眼、個人および家族)は、特に無く、他の薬物治療も無し。

眼所見

HVID: 11mm, PA = 10mm, PS(明順応時の瞳孔径) = 1.78mm

涙液層破壊時間(TBUT): 9秒(OU)

検査法: 非直交乱視あるいは不正乱視のために終端点の決定が困難な変則検査(はさみ)反射、そして、前回の来院時記録と比べ、乱視度および正乱視から斜乱視への軸の変化

視力: 6/7.5-2に矯正

スリットランプ所見: 角膜、結膜、眼瞼そして睫毛

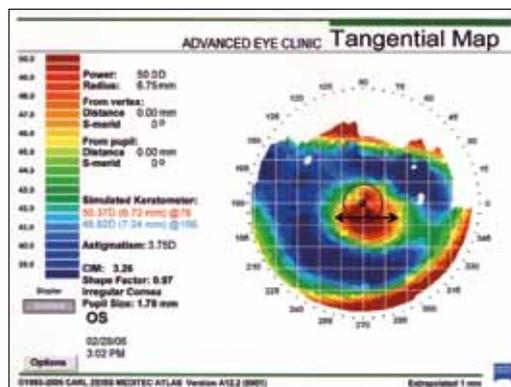


Figure 1. 角膜形状

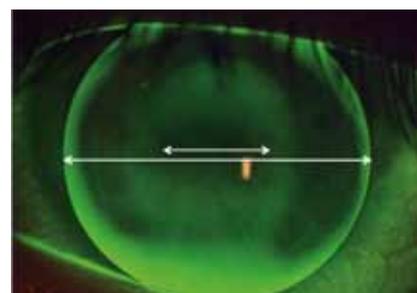


Figure 2. フルオレスセインパターン

Sign	有り	無し
マンソン徴候		■
フィッシャー輪	■	
フォークト 線条		■
上皮下の繊維線	■	
顕著な角膜神経	■	
角膜癒痕		■
角膜厚の菲薄化	■	
血管新生		■
結膜充血	■	
角膜ステイン 中央部		■
角膜ステイン 周辺部		■
眼瞼炎	■	
マイボーム腺機能障害	■	

角膜形状解析:

シミュレーションされたK値(D, mm)	46.62 (7.24) @166 / 50.37 (6.7) @076
角膜乱視(D)	-3.75 x 166
平均K値	48.50 (6.96)
スティーブK値	50.00
最もスティーブなコーン直径(mm)	2
コーン全体の直径(mm)	4.5
Q, e および p 値	0.97, 0.98, 0.03

*Q (非球面度) = e², e = 離心率, p (球面係数) = 1-Q

フィッティングステップ

ステップ1:後面光学ゾーン/全直径の決定(BOZD/LD)

この患者は、初期段階のセンターあるいはニップルタイプのコーンを持っています。このコーンは進行性(スティーブ化)で、コーン直径は小さくなっていきます。小さなBOZDを持つどんなトライアルレンズでもフィッティング可能ですが、BOZDが小さくてBOZRに相関する変動的BOZDのタイプのトライアルレンズが、この患者に適するでしょう。BOZDがコーン直径に適合すると、結果として角膜サグと光学ゾーンの弦の上のレンズサグとより適合します。

コーンのタイプ	コーン直径	BOZDの範囲	LDの範囲
センター コーン:中等度	4.0 to 5.0mm	7.4 to 8.1mm	9.4 to 9.6mm

次のレンズがトライアルレンズに選択されました。(Table 2、ページ13を参照)

コーンのタイプ	コーンの直径	BOZDの範囲	LDの範囲
センター コーン:中等度	4.0mm	5.5mm	9.4mm

ステップ2:後面光学ゾーン曲率(BOZR)の決定

後面光学部ゾーン曲率は、次の二つのパラメーターを考慮して決定されます。最初に、角膜乱視の量 (Table A)そして二番目に、BOZDのサイズ (Table B)です。

ミリメートル(mm)からディオプター(D)への換算には次の式が使用されます。

$$\frac{337.5}{\text{mm又はD}} = \text{D 又はmm}$$

(補足F:ケラトメーター値の換算表を参照)

Table A:角膜乱視

ΔK (D)	BOZR (D) (TD 9,4 mm)
-0.25D to -3.75D	Flat K (D) - 0.609 x (ΔK)
-4.00D to -7.50D	Flat K (D) - 0.491 x (ΔK)*
-7.75D to -16.75D	Flat K (D) - 0.354 x (ΔK)

*7.4mm BOZDについての平均K値

Table B:BOZDのサイズ

変動的BOZD	BOZR (mm)
3.0-3.7mm	平均K (mm) - 0.4mm
3.8-4.9mm	平均K (mm) - 0.35mm
5.0-6.1mm	平均K (mm) - 0.3mm
6.2-7.3mm	平均K (mm) - 0.2mm
7.4-8.0mm	平均K (mm)
> 8.1 BOZD	平均K(mm) + 0.2mm

7.4mmのBOZDで9.4mmのTD、そしてレンズの中央部が球面のこのデザインで最初のレンズのBOZRを計算すると次のようになります:

ΔK (D)	BOZR (D) (TD 9.4/7.4 BOZD)
-3.75 D	平均K = 48.50D (6.96mm)

ステップ3: トライアルレンズの選択

13ページのTable 2 のトライアルレンズのパラメーターを参照してください。後面光学ゾーン直径(BOZD)は、レンズの直径(LD)だけでなく後面光学部曲率(BOZD)とともに様々に変化します。BOZRがスティーブになると、BOZDのサイズは減少します。選択されたレンズは、小さなBOZD(7.4の代わりに5.5)のもので、それ故にBOZRを調節する必要があります(6.96-0.3mm)=6.66mm。Table B について、

BOZR	BOZD	周辺AEL	パワー
6.66	5.50	「標準」	-6.00D

ステップ4: レンズのフィッティングの評価

レンズのセンタリングおよび瞬目によるレンズの動きについて、レンズのフィッティングを評価します。次いでフルオレスセインパターンをコバルトおよびWratten #12の黄色フィルターの両方を使って評価します。27ページのフローチャートを参照してください。この例では、中央部のフィッティングは受け入れ可能でしたが、周辺部のフィッティングがスティーブ過ぎでした。これは、角膜の離心率値が高く、レンズのAELが十分なアクシャルエッジクリアランスを提供していなかったためです。

	最初のレンズ	調整
BOZR	6.66	no change
BOZD	5.50	no change
TD	9.40	no change
Periphery	(AEL) 標準	#2フラット

ステップ5: 追加矯正/パワーの決定

コンタクトレンズのパワーを予測するために、トライアルレンズの上から追加矯正を行ってください。通常、検影器を使用して測定することが困難な小さな量の残余乱視があるので、オートリフラクトメー

ターの使用がこのケースでは役に立つことがわかるでしょう。オートリフラクトメーターは、自覚的追加矯正のためのある程度適切な最初の出発点を与えてくれます。最良球面が決定され、>-4.00Dならば頂点補正が行われてコンタクトレンズの度へ加えられます。残余乱視が不正であるので、残余乱視を矯正するためにトーリックデザインを使うことはしません。高コントラスト視力が測定されます。

コンタクトレンズのパワー	-6.00D
追加矯正(球面 - シリンダー)(オートリフラクション)	-4.00/-1.25 x 152°
最良球面	-5.00
最良頂点球面/視力	-4.75D 6/6 HCVA
最終コンタクトレンズパワー = CL BVP + 最良頂点球面	-10.75D

ステップ6:最終レンズの発注

最終レンズの発注には、次が含まれます。

最終レンズ: 酸素透過性ハードレンズ <input type="checkbox"/> 球面 <input type="checkbox"/> 非球面 <input type="checkbox"/> 多段カーブ								
製造メーカー:					レンズ名称:			
	BOZR	SCR/W	PCR/W	Diameter	BOZD	Power	CT	Color
OD								
OS	6.66	Flat #2	Flat #2	9.4	5.5	-10.75	0.14	blue
追加情報: ____ プラスキャリアーでレンチキュラー____ ブレンド ____ 中程度____								
コメント: ____ BOZRは、0.1mmスティーブにし6.55mmにそして周辺部をフラットにすることによって起こるサグの変化を補正するためにレンズ検取時にパワーは-11.25Dであること								

ステップ7: レンズの引き渡しおよび定期検査

生理的健康を最適にするために高い酸素透過性の材料で、良好な装用感のためにプラズマ処理レンズが注文されました。レンズを装用しているときには、人工涙液を使うように指導されました。患者にレンズを渡す際に、レンズをフィッティングさせ、視力が、診断用レンズで処方した際の視力と一致していることを確認しました。2週間目の定期検査では、非常に良好な結果を示していました。円錐角膜患者では、最初の3ヶ月後に来院時に、しばしばレンズのフィッティングとパワーを調節します。フィッティングおよびレンズに対する生理学的反応を観察するために3ヶ月毎の定期検査が勧められます。6ヶ月目毎の定期検査では、角膜形状解析および角膜厚測定が繰り返されます。

フィッティング例: 楕円コーン(重度な段階)

患者JS、49歳、視力不良の主訴で来院、特に夜間およびまた最近眼鏡の処方を変えたにもかかわらず以前のように見えないように感じる。患者は、アレルギーの病歴があり、ドライアイのための点眼薬を時々使用している。病歴(眼、個人および家族)は、特に無く、他の薬物治療も無し。

眼所見

HVID: 11.0mm, PA = 10mm, PS(明順応時の瞳孔径) = 3.34mm

涙液層破壊時間(TBUT): 8 sec. (OU)

検影法: 非直交乱視あるいは不正乱視のために終端点の決定が困難な変則検影(はさみ)反射、そして、前回の来院時記録と比べ、乱視度および正乱視から斜乱視への軸の変化

視力: 6/7.5-2に矯正

スリットランプ所見: 角膜、結膜、眼瞼そして睫毛

Sign	有り	無し
マンソン徴候	■	
フィッシャー輪	■	
フォークト線条	■	
上皮下の繊維線	■	
顕著な角膜神経	■	
角膜癒痕		■
角膜厚の菲薄化	■	
血管新生		■
結膜充血	■	
角膜ステイン中央部	■	
角膜ステイン周辺部		■
眼瞼炎		■
マイボーム腺機能障害	■	

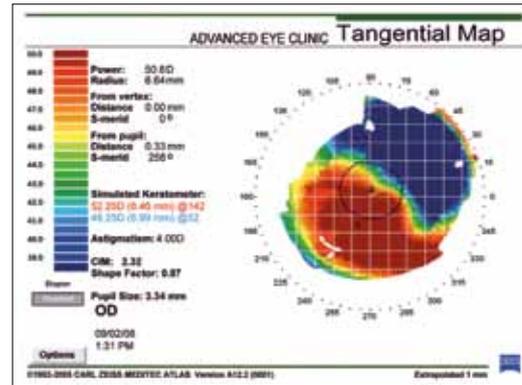


Figure 3: 角膜形状解析

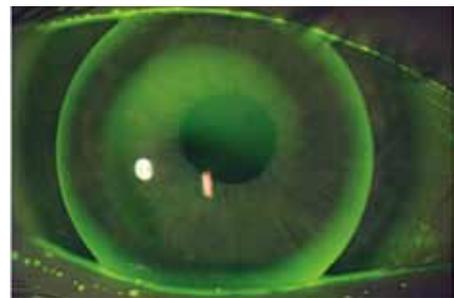


Figure 4: フルオレスセインパターン

角膜形状解析:

シミュレーションされたK値(D, mm)	48.25 (6.99) @052 / 52.25 (6.46) @142
角膜乱視(D)	-4.00 x 052
平均K値	50.25 (6.7)
スティープK値	54.00
最もスティープなコーン直径(mm)	5.5
コーン全体の直径(mm)	6
Q, e および p 値	0.87, 0.93, 0.07

*Q (非球面度) = e², e = 離心率, p (球面係数) = 1-Q

フィッティングステップ

ステップ1:後面光学ゾーン/全直径の決定(BOZD/LD)

この患者は、進行した段階の楕円タイプのコーンを持っています。このコーンは進行性(スティープ化)で、コーン直径は大きくなっていきます。大きなBOZDを持つどんなトライアルレンズでもフィッティング可能ですが、BOZDが大きすぎてBOZRに相関しないため、固定BOZDのタイプのトライアルレンズが、この患者に適するでしょう。BOZDがコーン直径に適合すると、結果として角膜サグと光学ゾーンの弦の上でのレンズサグとより適合します。

コーンのタイプ		コーン直径	BOZDの範囲	LDの範囲
楕円	重度	6.1 to 8.0mm	8.10 to 9.40mm	10.2 to 11.2mm

10.4mmのLD、8.4mmのBOZDの多段カーブレンズがトライアルフィッティングに選択されました。

ステップ2:後面光学ゾーン曲率(BOZR)の決定

後面光学部ゾーン曲率は、次の二つのパラメーターを考慮して決定されます。最初に、角膜乱視の量 (Table C)そして二番目に、BOZDのサイズ (Table D)

ミリメートル(mm)からディオプター(D)への換算には次の式が使用されます:

$$\frac{337.5}{\text{mm 又は D}} = \text{D 又は mm}$$

(補足F:ケラトメーター値の換算表を参照)

Table C: 角膜乱視

ΔK (D)	BOZR (D) (TD 9.4mm)
-0.25D to -3.75D	Flat K (D) - 0.609 x (ΔK)
-4.00D to -7.50D	Flat K (D) - 0.491 x (ΔK)*
-7.75D to -16.75D	Flat K (D) - 0.354 x (ΔK)

*7.4mm BOZDについての平均K値

Table D:BOZDのサイズ

固定BOZD/LD	BOZR (mm)
5.25-6.5/8.5-8.8mm	平均K (mm) - 0.2mm
7.2-7.5/9.2-9.6mm	平均K (mm)
7.6-8.1/9.8-10.1mm	平均K (mm) + 0.15mm
8.2-8.6/10.2-10.7mm	平均K (mm) + 0.2 to 0.3mm
8.7-9.4/10.8-11.4mm	平均K (mm) + 0.4mm

レンズの中央部が球面のこのレンズデザインについて、最初のレンズのBOZRを計算すると次のようになります:

ΔK (D)	BOZR (D) (9,4LD/7,4 BOZD)
-4.00 D	平均K = 50.25D (6.7mm)

選択されたレンズは、大きなBOZD(8.4mm)のレンズで、最終BOZRは以下のように調整します。

ΔK (D)	BOZR (D) (TD 9,4 mm/ BOZD 7,4)	調整後のBOZR
-4.00D	平均K = 50.25D (6.7mm)	平均K + 0.25mm (6.7 + 0.25) = 6.95mm

ステップ3: トライアルレンズの選択

10.2-10.6 TD																		
BOZR	7.94	7.76	7.58	7.42	7.18	7.11	7.03	6.96	6.89	6.82	6.75	6.68	6.62	6.55	6.49	6.37	6.25	6.14
BOZD	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60
SC1	8.94	8.76	8.58	8.42	7.98	7.91	7.83	7.76	7.69	7.62	7.55	7.48	7.42	7.50	7.40	7.30	7.25	7.20
SCW1	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.80	8.80	8.80	8.80	8.80	8.80	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
SC2	10.15	10.10	10.00	9.80	8.98	8.91	8.83	8.76	8.69	8.62	8.55	8.48	8.42	8.55	8.40	8.30	8.25	8.20
SCW2	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40
SC3	11.50	11.40	11.30	11.00	10.18	10.11	10.03	9.96	9.89	9.82	9.75	9.68	9.62	9.65	9.55	9.35	9.35	9.25
SCW3	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
PC	12.15	12.15	12.10	12.00	11.68	11.61	11.53	11.46	11.39	11.32	11.25	11.18	11.12	11.00	11.00	10.85	10.80	10.75
PCW	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60
AEL	0.245	0.266	0.287	0.303	0.310	0.319	0.349	0.361	0.373	0.386	0.400	0.415	0.457	0.486	0.501	0.538	0.591	0.644

上記の表は(後面光学ゾーン曲率(BOZR)ではなく)レンズの直径(LD)だけに伴って変化する固定後面光学ゾーン直径(BOZD)を表す、多段カーブのトライアルレンズパラメーターの例を示しています。レンズ直径が増加すると、BOZDもまた大きくなります。角膜がスティープにそしてe値が増加するとアキシアルエッジリフト(AEL)も増加することに注意してください。

BOZR	BOZD/TD	周辺AEL	パワー
6.95	8.4/10.4	0.36	-8.00D

ステップ4: レンズのフィッティングの評価

レンズのセンタリングおよび瞬目によるレンズの動きについて、レンズのフィッティングを評価します。次いでフルオレスセインパターンを、コバルトおよびWratten #12の黄色フィルターの両方を使って

評価します。この例では、中央部のフィッティングが受け入れ可能でしたが、周辺部のフィッティングがタイト過ぎでした。角膜の高い離心率値のために、レンズの「標準」のAEL十分なアクシャルエッジクリアランスを提供していませんでした。レンズはAELを0.2mm増加することによってよりフラットな周辺を持つレンズを発注します。

	最初のレンズ	調整
BOZR	6.95	No change
BOZD	8.4	No change
TD	10.4	No change
Periphery (AEL)	0.36	0.56

ステップ5: 追加矯正/パワーの決定

コンタクトレンズのパワーを予測するために、トライアルレンズの上から追加矯正を行ってください。通常、検影器を使用して測定することが困難な小さな量の残余乱視があるので、オートリフラクトメーターの使用がこのケースでは役に立つことがわかるでしょう。オートリフラクトメーターは、自覚的追加矯正のためのある程度適切な最初の出発点を与えてくれます。最良球面が決定され、>-4.00Dならば頂点補正が行われてコンタクトレンズの度へ加えられます。残余乱視が不正であるので、残余乱視を矯正するためにトーリックデザインを使うことはしません。高コントラスト視力が測定されます。

コンタクトレンズのパワー	-8.00D
追加矯正(球面 - シリンダー)(オートリフラクション)	-6.00/-1.75 x 032
最良球面	-7.00
最良頂点球面/視力	-6.25 6/6 HCVA
最終コンタクトレンズパワー = CL BVP + 最良頂点球面	-14.25D

ステップ6: 最終レンズの発注

最終レンズの発注には、次が含まれます。

最終レンズ: 酸素透過性ハードレンズ <input type="checkbox"/> 球面 <input type="checkbox"/> 非球面 <input type="checkbox"/> 多段カーブ										
製造メーカー:					レンズ名称:					
	BOZR	SCR/W			PCR/W	Diameter	BOZD	Power	CT	Color
OD	6.95	8.0/0.2, 9.76/0.2, 10.96/0.3			12.25/0.3	10.4	8.4	-14.25	0.16	blue
OS										
追加情報: ____ プラスキャリアーでプラスレンティキュラー ____ ブレンド ____ 中程度 ____ ODに点を追加										
コメント: _____ AEL = 0.561 _____										

ステップ7: レンズの引き渡しおよび定期検査

生理的健康を最適にするために高い酸素透過性の材料で、良好な装用感のためにプラズマ処理レンズが注文されました。レンズを装用しているときには、人工涙液を使うように指導されました。患者にレンズを渡す際に、レンズをフィッティングさせ、視力が、診断用レンズで処方した際の視力と一致していることを確認しました。2週間目

の定期検査では、非常に良好な結果を示していました。円錐角膜患者では、最初の3ヶ月後に来院時に、しばしばレンズのフィッティングとパワーを調節します。フィッティングおよびレンズに対する生理学的反応を観察するために3ヶ月毎の定期検査が勧められます。6ヶ月目毎の定期検査では、角膜形状解析および角膜厚測定が繰り返されます。

補足 F: ケラトメーター測定値の換算表

ミリメーター(mm)からディオプター(D)への換算には次の式が使用されます。

$$\frac{337.5}{\text{mm 又は D}} = \text{D 又は mm}$$

mm to D

mm	D	mm	D
4.70	71.81	6.65	50.75
4.75	71.05	6.70	50.37
4.80	70.31	6.75	50.00
4.85	69.59	6.80	49.63
4.90	68.88	6.85	49.27
4.95	68.18	6.90	48.91
4.75	71.05	6.95	48.56
4.80	70.31	7.00	48.21
4.85	69.59	7.05	47.87
4.90	68.88	7.10	47.54
4.95	68.18	7.15	47.20
5.00	67.50	7.20	46.88
5.05	66.83	7.25	46.55
5.10	66.18	7.30	46.23
5.15	65.53	7.35	45.92
5.20	64.90	7.40	45.61
5.25	64.29	7.45	45.30
5.30	63.68	7.50	45.00
5.35	63.08	7.55	44.70
5.40	62.50	7.60	44.41
5.45	61.93	7.65	44.12
5.50	61.36	7.70	43.83
5.55	60.81	7.75	43.55
5.60	60.27	7.80	43.27
5.65	59.73	7.85	42.99
5.70	59.21	7.90	42.72
5.75	58.70	7.95	42.45
5.80	58.19	8.00	42.19
5.85	57.69	8.05	41.93
5.90	57.20	8.10	41.67
5.95	56.72	8.15	41.41
6.00	56.25	8.20	41.16
6.05	55.79	8.25	40.91
6.10	55.33	8.30	40.66
6.15	54.88	8.35	40.42
6.20	54.44	8.40	40.18
6.25	54.00	8.45	39.94
6.30	53.57	8.50	39.71
6.35	53.15	8.55	39.47
6.40	52.73	8.60	39.24
6.45	52.33	8.65	39.02
6.50	51.92	8.70	38.79
6.55	51.53	8.75	38.57
6.60	51.14	8.80	38.35

D to mm

D	mm	D	mm	D	mm
38.00	8.88	49.00	6.89	60.00	5.63
38.25	8.82	49.25	6.85	60.25	5.60
38.50	8.77	49.50	6.82	60.50	5.58
38.75	8.71	49.75	6.78	60.75	5.56
39.00	8.65	50.00	6.75	61.00	5.53
39.25	8.60	50.25	6.72	61.25	5.51
39.50	8.54	50.50	6.68	61.50	5.49
39.75	8.49	50.75	6.65	61.75	5.47
40.00	8.44	51.00	6.62	62.00	5.44
40.25	8.39	51.25	6.59	62.25	5.42
40.50	8.33	51.50	6.55	62.50	5.40
40.75	8.28	51.75	6.52	62.75	5.38
41.00	8.23	52.00	6.49	63.00	5.36
41.25	8.18	52.25	6.46	63.25	5.34
41.50	8.13	52.50	6.43	63.50	5.31
41.75	8.08	52.75	6.40	63.75	5.29
42.00	8.04	53.00	6.37	64.00	5.27
42.25	7.99	53.25	6.34	64.25	5.25
42.50	7.94	53.50	6.31	64.50	5.23
42.75	7.89	53.75	6.28	64.75	5.21
43.00	7.85	54.00	6.25	65.00	5.19
43.25	7.80	54.25	6.22	65.25	5.17
43.50	7.76	54.50	6.19	65.50	5.15
43.75	7.71	54.75	6.16	65.75	5.13
44.00	7.67	55.00	6.14	66.00	5.11
44.25	7.63	55.25	6.11	66.25	5.09
44.50	7.58	55.50	6.08	66.50	5.08
44.75	7.54	55.75	6.05	66.75	5.06
45.00	7.50	56.00	6.03	67.00	5.04
45.25	7.46	56.25	6.00	67.25	5.02
45.50	7.42	56.50	5.97	67.50	5.00
45.75	7.38	56.75	5.95	67.75	4.98
46.00	7.34	57.00	5.92	68.00	4.96
46.25	7.30	57.25	5.90	68.25	4.95
46.50	7.26	57.50	5.87	68.50	4.93
46.75	7.22	57.75	5.84	68.75	4.91
47.00	7.18	58.00	5.82	69.00	4.89
47.25	7.14	58.25	5.79	69.25	4.87
47.50	7.11	58.50	5.77	69.50	4.86
47.75	7.07	58.75	5.74	69.75	4.84
48.00	7.03	59.00	5.72	70.00	4.82
48.25	6.99	59.25	5.70	70.25	4.80
48.50	6.96	59.50	5.67	70.50	4.79
48.75	6.92	59.75	5.65	70.75	4.77

補足 G: 換算表: 遠方視力換算表

Snellen (ft.)	Snellen (m.)	LogMar	Min. of Arc
20/200	6/60	1.0	0.1
20/160	6/48	0.9	0.125
20/100	6/30	0.8	0.2
20/80	6/24	0.7	0.25
20/70	6/23	0.6	0.28
20/63	6/18	0.5	0.32
20/50	6/15	0.4	0.4
20/40	6/12	0.3	0.5
20/32	6/9	0.2	0.64
20/25	6/7.5	0.1	0.8
20/20	6/6	0.0	1.0



Centre for Contact Lens Research

School of Optometry, University of Waterloo

200 University Avenue West

Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1

519 888-4742

<http://cclr.uwaterloo.ca>