

新世代： カスタムLASIKの有用性

南青山アイクリニック 戸田 郁子

KEY WORDS

- カスタムLASIK
- Wavefront-guided LASIK
- Topography-linked LASIK
- Multifocal照射

はじめに

20世紀の屈折矯正術では、いかに良好な裸眼視力を得るかということが第1の課題であった。エキシマレーザーや手術方法の改良によって手術精度が上がり、約90%の人は手術によって術前の最高矯正視力に近い視力を得ることができるようになった。しかし、裸眼視力がどんなに向上しても、ときに“薄暗いところのみえ方”，“まぶしい条件下でのみえ方”，“みえ方のシャープさ”などの“みえ方の質”の低下により術後のみえ方に満足できないケースがある。術後の満足度のさらなる向上のため、21世紀の屈折矯正術では、総合的な視力の質の改善に目標がおかれるようになった。

このような視力の質に影響を与えるのは高次収差 (Wavefront aberration) と考えられている。もともとわれわれの眼は高次収差がなるべくならないような形状にできているが、LASIKなどの手術によって角膜を変形させることに

よって増加する。これに対して近年、高次収差を術前に測定し、その増加をなるべく起こらないように、あるいはもとから存在する高次収差を少しでも減らすようにレーザーを照射する方法“Wavefront-guided LASIK”が開発された。高次収差は個々人で同じパターンではないので、Wavefront-guided LASIKはオーダーメイド(カスタムメイド)のLASIKといえる。

本章では、Wavefront-guided LASIKを筆頭に、主に角膜に起因する収差を除去するTopography-linked LASIKや、最近始まった老視対策のためのMultifocal照射など、新時代のカスタムLASIKについて解説する。

I. Wavefront-guided LASIK

1. 収差とは

中心窩に投影した光線が眼底で反射して射出光となる場合、収差が存在し

Efficacy of customized LASIK
Ikuko Toda (院長)

なければ射出光の位相は揃って理想の波面(平面)と一致する。一方、不正乱視などのため収差が存在すると、射出光の位相がずれて不揃いな波面となる(図1)。一般に屈折異常と称される球面成分(近視、遠視)と円柱成分(乱視)は低次収差、それ以外の不正成分を高次収差という。低次収差は眼鏡で矯正可能であるが、高次収差は矯正不可能で、その存在によって、像のぼけや歪み、像面の歪曲などを起こす。

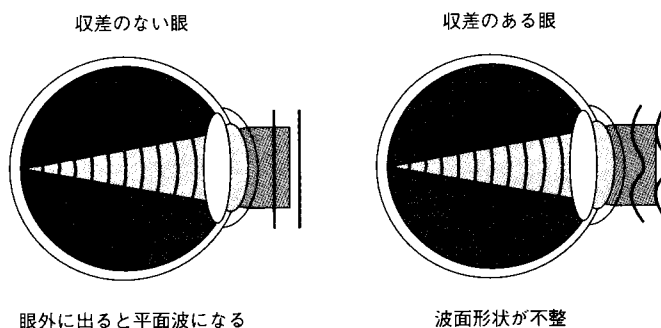


図1. 波面と収差

収差があると射出光は位相のずれた不正波になる。

2. 収差の測定

理想の波面からのずれ、すなわち収差を解析する方法が波面収差解析である。波面センサーのなかで代表的なものはHartmann-Shack方式波面センサー(図2-1)で、射出光を等間隔に並んだ多数のmicrolens arrayを通過させ、位相のずれをarrayを結ぶ格子の歪みとしてとらえる(図2-2)。この像をコンピュータ解析し、マップ画像表示することができる(図2-3)。このデータをエキシマレーザー各社固有

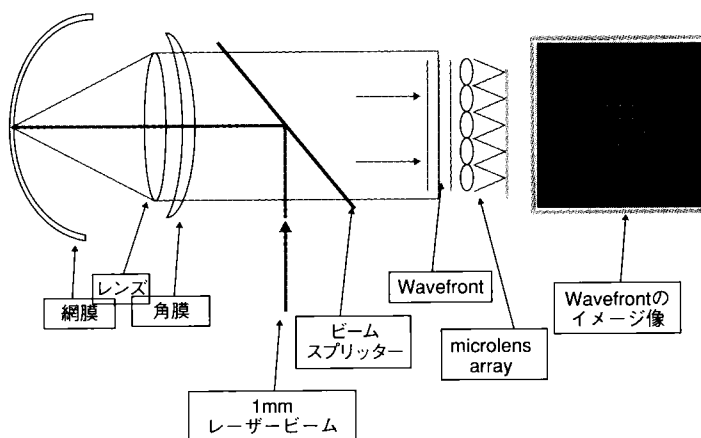


図2-1. 波面センサーの原理

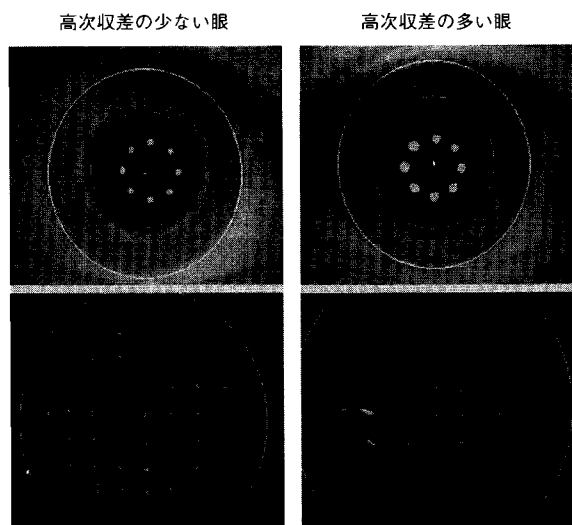


図2-2. Hartmann-Shack方式波面センサーによる測定例

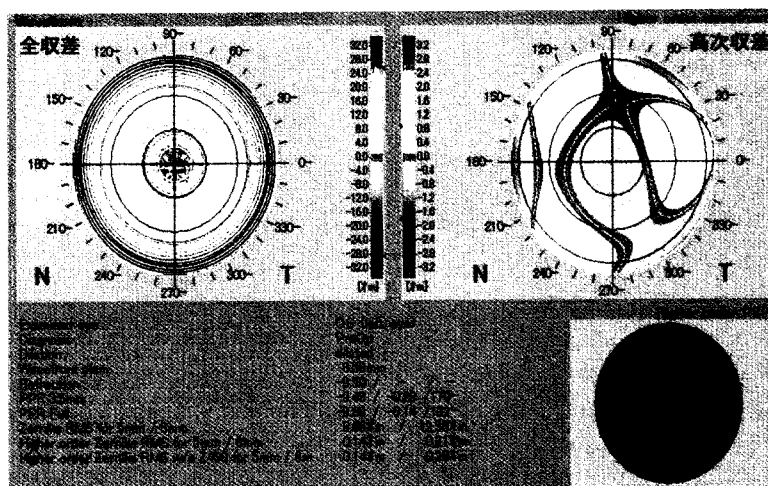


図2-3. 収差の解析マップ

表. 各社Wavefront-guided laserの比較

メーカー	Alcon	B & L	NIDEK	VISX	Zeiss	Lumenis
レーザー名	Ladervision 4000	T217Z100	EC-5000CX	Star-S4	Mel 80	Allegretto
スポットサイズ (mm)	0.8	2 or 1	スリットセグメント	0.6~6.5	0.7	0.75
トラッキング (Hz)	4000	120	200	60	250	200
波面センサー	Laderwave	Zywave	OPDscan	Wavescan	WASCA	Wavefront Analyzer
原理	Hartmann-Shack方式	Hartmann-Shack方式	スキアスコピー	Hartmann-Shack方式	Hartmann-Shack方式	Tscherning
測定点 (6 mm)	195	75	1440	240	800	96
測定波長 (nm)	820	780	808	785	830	650

のプランニングソフトに移し、レーザーの照射データを作成する。現在使用されている代表的なWavefront-guided LASIKが可能なエキシマレーザーを表に示した。

3. Wavefront-guided LASIKの適応

基本的にはすべてのLASIK適応症例に適応となる。ただし、高次収差を除去する分、通常のLASIKよりも角膜切除量がやや多くなるため、角膜の厚さが薄い症例ではできないこともある。また、もともとの高次収差がそれほど大きくない眼では、術後の高次収差や視機能が従来のLASIKと比較して差がないことから、当院では、術前的高次収差 $0.4\mu\text{m}$ 以上に積極的にWavefront-guided LASIKを推奨している。

4. Wavefront-guided LASIKの実際

カスタム照射においては、シミュ

レーションマップと同じ位置に同じ形で照射をすることが必要で、従来のLASIKよりもさらにレーザーと患者のアラインメントが重要である。個々の眼の収差にあわせた照射パターンのため、ずれてしまえば逆に新たな収差を作り出すリスクがある。検査時の座位からレーザー照射時の仰臥位になると、

頭の回転や眼球の回旋、さらに術中の眼球運動などによって、シミュレーションの位置からずれる可能性があるため、Torsion error detection systemやEye trackingの装備は必要不可欠である。さらに収差測定時とレーザー照射時では瞳孔中心のずれが起こることがあり、この補正ができるシステムも

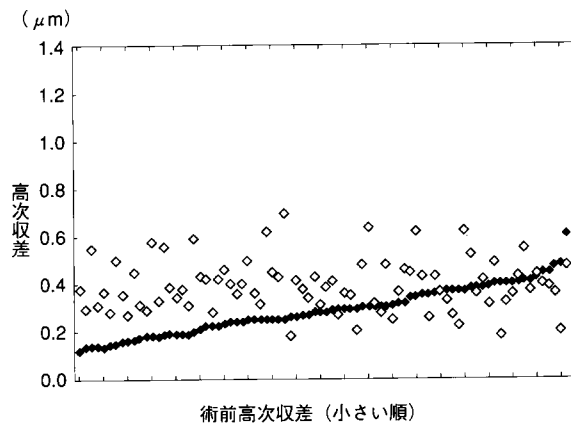


図3. Wavefront-guided LASIK術前術後の高次収差

●：術前高次収差，◇：術後高次収差
術前的高次収差の小さい順に表示している。術前的高次収差が約 $0.4\mu\text{m}$ 以上になると術後に高次収差が減少する例が増えてくる。

必要である。

5. Wavefront-guided LASIK

の効果

従来の方法と Wavefront-guided LASIKを比較すると、術後の高次収差の増加が Wavefront-guided LASIKでは抑制できることがわかる。前述のように特に術前の高次収差が $0.4\mu\text{m}$ 以上になると、術前よりも高次収差が少なくなるケースもあるため、術前高次収差 $0.4\mu\text{m}$ 以上の眼には Wavefront-guided LASIKは特にメリットがあると考えている(図3)。また、従来のLASIK後にみられる術後数ヵ月間のコントラスト感度の低下も Wavefront-guided LASIKではほとんどないことがわかっており、術後の視機能の改善に有効であると考えられる。

Final Fit Simulation

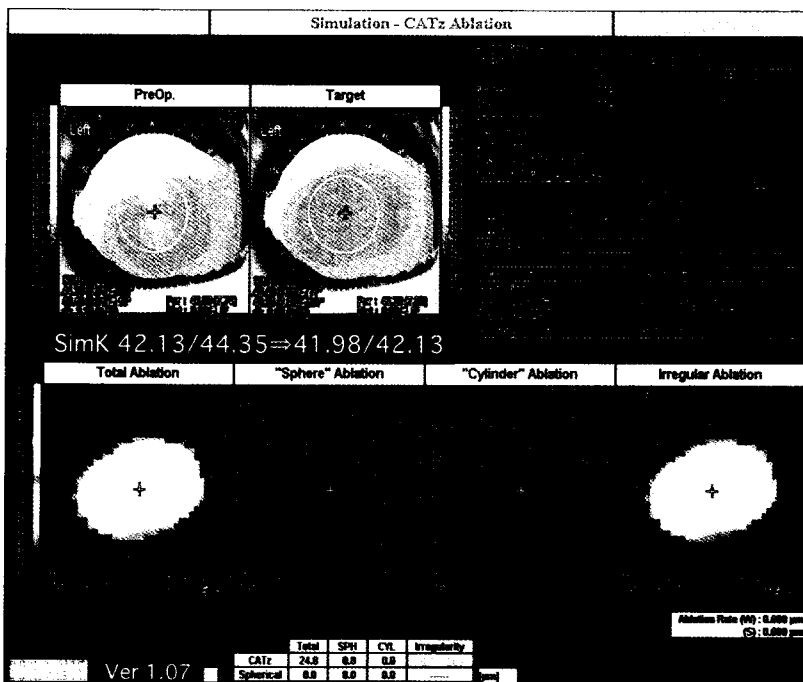


図4-1. Topography-linked LASIKの再手術例

他院での初回手術によって下方への照射ずれが認められる(PreOp)。シミュレーションにより角膜中心部を均一にできる可能性がある(Target)。下方の図はレーザーの照射パターンである。

II. Topography-linked LASIK

1. Topography-linked LASIK

の適応

本来、高次収差の原因となるのは、角膜、水晶体、硝子体、網膜など眼内のすべての組織である。しかし多くの場合は角膜に起因し、非対称性乱視や不正乱視などにより高次収差が大きくなる。もともと角膜の不正乱視が強い場合に加えて、過去に角膜屈折矯正術を受け、照射ずれなどにより角膜起因の収差が大きい症例はよく経験される。このような再手術症例などでは高次収差の値が大きいために、現在の波面センサーでは正確に収差を測定することができない。したがって、このような収差が極端に大きい症例では、角膜の形状に基づいた Topography-linked

術前視力
1.5 (n.c.)

術後9ヵ月視力
1.2 (1.5xS+1.25D C-0.75D Ax75)

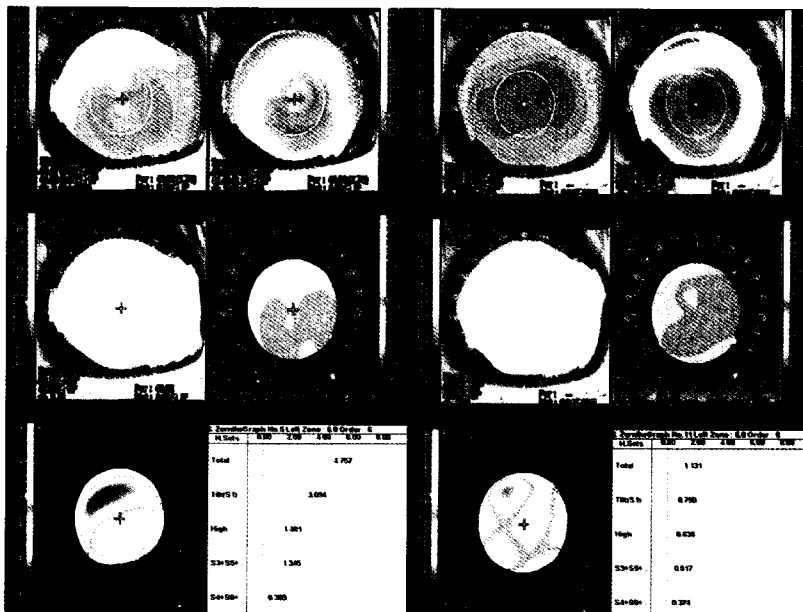


図4-2. 術前術後の角膜形状と高次収差

術後はシミュレーション通り、角膜中央部が均一化している。高次収差(最下段)はかなり減少している。

LASIKが適応になる。

2. Topography-linked LASIK の実際

Topography-linked LASIKでは角膜形状解析装置にて得たtopographyのデータをシミュレーションソフトに移し、術後のシミュレーションマップがきれいな形になるようにシミュレーションを行う。図4は他院において施行されたLASIK症例であるが、下方への照射ずれを認めた。裸眼視力は良好であるが、患者は夜間のみにくさと2重にみえるという症状を訴えていた。この角膜形状をNIDEK社のシミュレーションソフト(FinalFit)に移し、対称的な角膜形状となるようにシミュレーションを行った(図4-1)。図4-2は術前と術後の角膜形状および高次収差であるが、ほぼシミュレーションどおりの形状となっている。また、高次収差も減少し、患者の自覚症状は劇的に改善した。

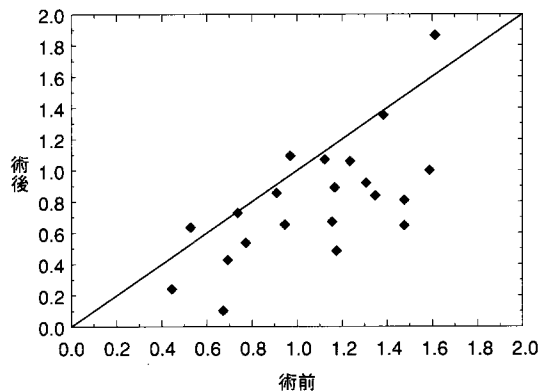


図5. 角膜形状解析におけるSRI
術後に減少している症例がほとんどで、不正乱視が軽減されていることがわかる。

3. Topography-linked LASIK の効果

当院では、再手術例を中心に角膜不正乱視に対するTopography-linked LASIKを約30例ほど施行した。不正が強く従来の照射方法やWavefront-guided LASIKでは治療困難な例であった。非常に不正の強い例を除いて、術後の裸眼および矯正視力は改善し、角膜形状解析におけるSurface regularity index (SRI)やSurface asymmetry index (SAI), および高次収差は減少した(図5)。ただし、角膜の不正を除去するにあたって屈折のずれが生じることが多いため、さらに再手術を行って屈折矯正をしなければならないこともある。

したがって、1度の手術で終わらない可能性に関して、術前にインフォームドコンセントが必要である。

Ⅲ. Multifocal照射による 老視対策

現在のところ老視を完全に治せるような外科的方法はない。強膜にシリコンバンドを縫着したり、レーザーやメスで切開を加えるScleral expansionなどの方法はあるが、術後の効果は疑問視されている¹⁾。また、LASIKにおい

ては、モノビジョンやアンダーコレクションなどによって、なるべく近方を見やすくする対策を施しているが、左右のバランスや遠方のみえ方などで完全な満足は得られにくい。

そこで、近年遠近両用のコンタクトレンズを模して、角膜をエキシマレーザーでmultifocalに切除するソフトウェアが開発されている。VISX社などでは角膜中心部を近見に、周辺部を遠見に合わせる形状を、NIDEK社では逆に中心部を遠見に、周辺部を近見に合わせる形状の照射パターンを実用化

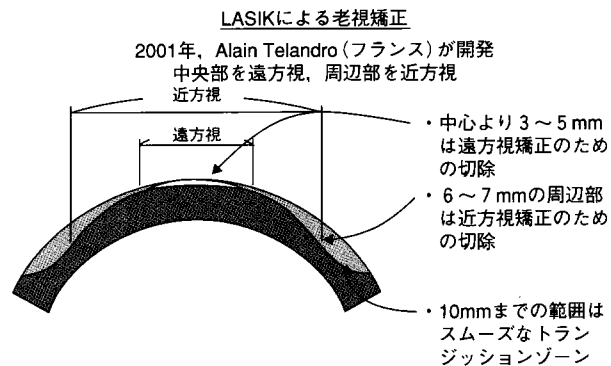


図6. Multifocal照射の原理
■: 遠視矯正, □: 近視矯正

している。

1. 照射方法と度数選択

中心部を遠方にあわせる方法では、まず近方加入度数分(老視分)の矯正を行い、その後中心部において小さいオブチカルゾーンで遠方矯正を行う(図6)。加入度数の選択は、患者の年齢や日常生活パターンを参考に選択する。

2. 効果

現時点でのpreliminaryなデータによると、ばらつきはあるものの遠見は

約70%が±0.5D以内になった²⁾。ただし、近視眼と遠視眼ともに行われているが、術後の遠方屈折は近視眼では低矯正、遠視眼では過矯正気味になる傾向があり、遠視眼のほうが満足度は高いようである。近方加入度数は近視眼で術前+1.75Dから+0.07Dに、遠視眼では+2.40Dから+0.11Dに減少した。ただし、時間とともに偽調節機能の効果が減弱傾向を示す患者もいる。

遠近両用のコンタクトレンズやmultifocal IOLの問題と同様、コントラストの低下、収差の増加、夜間の視力の低下、グレア、ハローといった問題も

ある。今後このような問題の解決の他、ノモグラムの確立や長期予後の観察が必要であるが、老視対策方法の1つとして有望な方法と考えられる。

文 献

- 1) Malecaze FJ, Gazagne CS, Tarroux MC, et al : Scleral expansion bands for presbyopia. *Ophthalmology* 108 : 2165-2171, 2001
- 2) Telandro A : Pseudo-accommodative cornea : a new concept for correction of presbyopia. *J Refract Surg* 20 (Suppl.5) : S714-717, 2004