

レーシックに対するレーザーの応用

京都府立医科大学 眼科

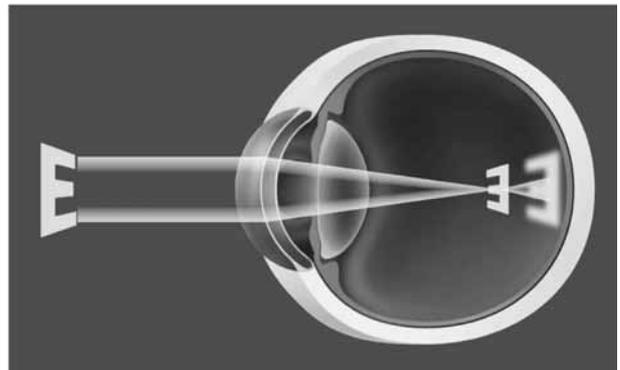
中村 葉、稗田 牧

1 はじめに

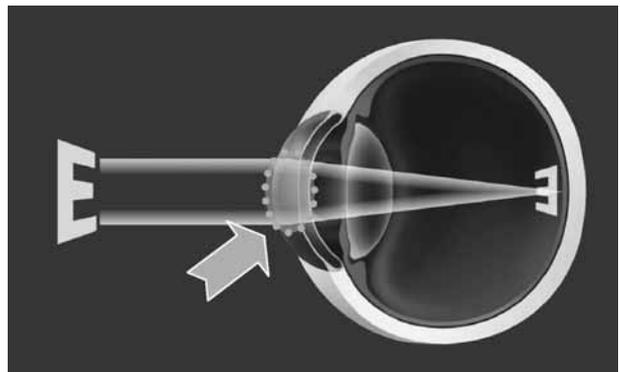
レーシック (LASIK : Laser in situ keratomileusis) とは、1990 年にパリカリスが発表した方法¹⁾で、近視や乱視の矯正をするためにマイクロケラトームという器械で角膜の実質層を切開し、実質を露出してエキシマレーザーで切除する方法のことである。日本においても 2000 年にエキシマレーザーに厚生労働省の認可がおりてから眼科医によって屈折矯正の治療として行われ、2006 年にはレーシックの術式自体も認可をうけた。ピーク時には 45 万件施行されていたが、2008 から 2009 年に非常に特殊な一施設における感染症問題²⁾が大きく報道され一時症例が減少していたが、現在では安全な治療であることが認知され、増加傾向にある。適応としては年齢 18 歳以上、角膜の形状に問題がないこと、角膜の厚みが十分保たれることなどがあげられ、術前検査が大切である。術後すぐから視力回復効果がでること、ほとんど痛みのないことなどから一般に受け入れやすい手術方法である。

2 基本原理

近視の場合、遠方からの光の焦点が網膜面より手前にあってしまうため裸眼での遠方視力が悪くなっている。角膜を平坦化することによって焦点を後にずらし網膜面に合わせることで裸眼での遠方視力を矯正することができる(図 1)。遠視の場合は逆に凸面を作ることによって焦点を前にずらすことにより矯正できる。エキシマレーザーによって各々の症例の近視や



(a) 近視の状態：手前に焦点があっている。



(b) 角膜切除後：焦点が網膜面にあっている。

図 1 矯正原理

遠視、乱視度数にあわせて角膜実質の切除をおこない、矯正することができる。再生能力の高い上皮細胞を除いて、実質を切除することによって持続的な効果を得ている。上皮を含めて切除する手技に比較してレーシックは上皮が温存されるために創傷治癒が起こりにくく、痛みがでないというメリットが得られる。

角膜手術用エキシマレーザーは 193 nm の紫外線レーザーであり、高い光エネルギーによっ

て分子間結合を解離させる光切除によって正確な切除が行える。解離した分子の破片は外部へと噴出するために周囲組織にほとんど熱的な影響を与えずに綿密な除去を行えることが利点である。矯正度数 1D あたりの切除深度は照射径に比例して深くなり、通常の 6 mm 径であれば度数 1D あたり約 13 μm の切除が必要と考えられている。

3 レーシック手技

麻酔はオキシプロカインまたはキシロカインの点眼麻酔のみである。まず角膜実質にフラップを作成する。その方法として当初よりマイクロケラトームという切削器具を使用してきた。マイクロケラトームとは角膜に吸引をかけ平坦にした状態で刃をつかって実質層に 130 ~ 180 μm のフラップを作成する器具である。

次に、できたフラップを翻転させ、実質層を露出させ、エキシマレーザーを照射する(図 2)。通常フラップ径は 8 mm から 9 mm 前後、エキシマレーザー照射径は光学径として 6 mm 径以上が推奨されている。最後にフラップをもとの位置にもどして手術は終了する。内皮による一時的な吸引圧で接着したのち、上皮が進展することによってフラップエッジが接着していく。

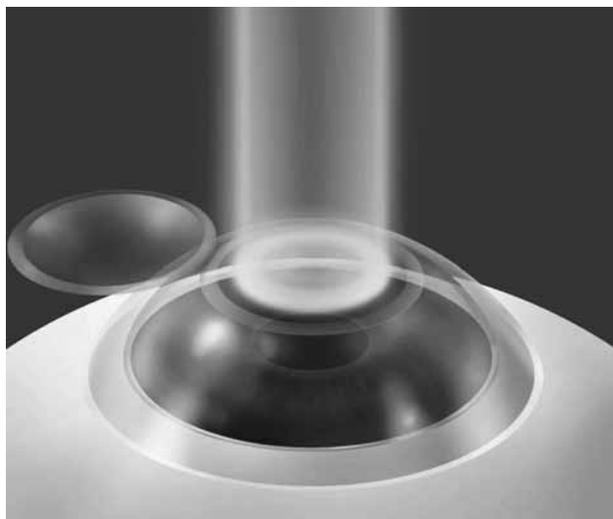


図 2 作成したフラップを翻転させ実質層にレーザーを照射する

4 エキシマレーザーの照射方式

日本において、4 社のレーザー機器が承認され、使用されている³⁾。

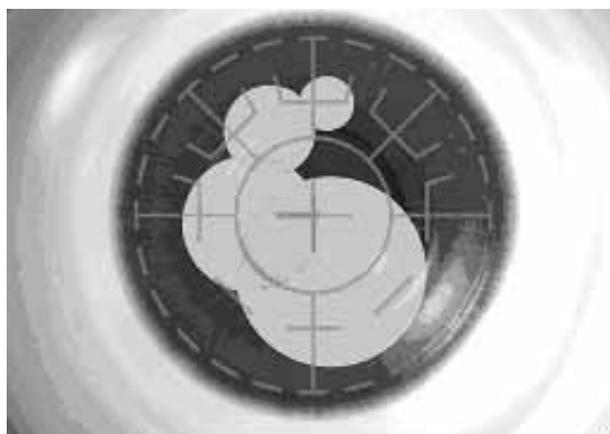
照射方式として ブロードビーム方式、スリットスキャニング方式、フライングスポット方式の 3 種類がある(図 3)。

ブロードビーム方式は大口径のレーザーを 1 ショットで切除面を作成するものである。この方式の場合詳細な照射を行うために、照射径の大きさを 1 mm 未満から 6 mm までと細かく分けて照射することができるようなプログラムがある。

スリットスキャニング方式はスリット状のレーザー光を重ね合わせることによってさまざまな大きさのレーザー面を作成することのできる方式である。

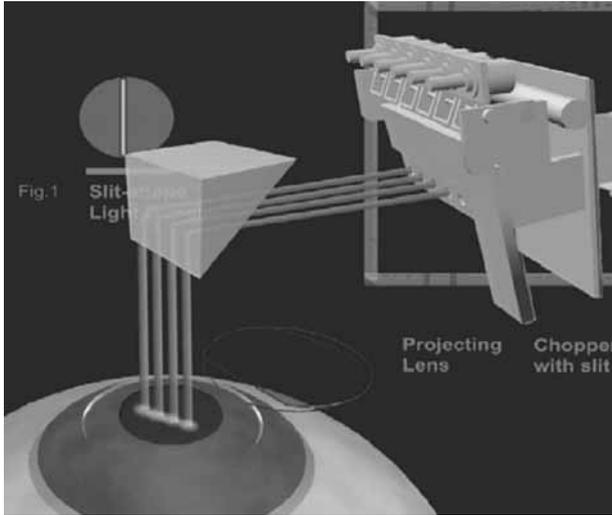
フライングスポット方式は、直径 2 mm 以下のレーザー光を X 軸 Y 軸方向のミラーにあてることにより、さまざまな方向からの微細な照射を可能にしている方式である。

通常の照射方式で十分視力がでることが確認されるようになってきたが、視力検査では視力は 1.0 以上あっても、視力検査では検出できない質の低下が問題となっていた。夜間のグレアやハロー、コントラスト感度の低下である⁴⁾。

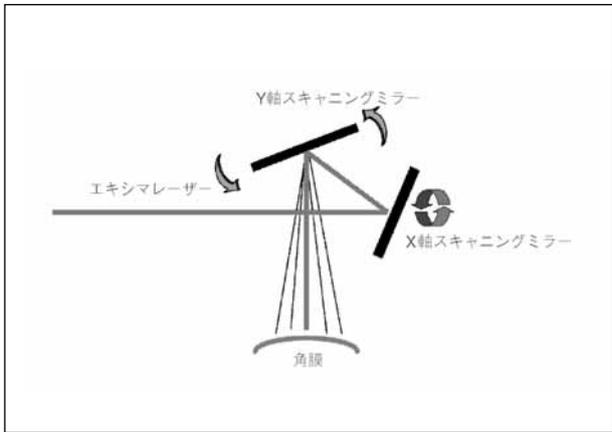


照射方式 ブロードビーム方式：スポットサイズおよび照射速度を変更して詳細な照射を可能にしている。

図 3 各々の照射方式および、カスタム照射への対応



照射方式 スリットスキャンニング方式：スリット状の光を組み合わせている



照射方式 フライングスポット：小口径のスポットを任意の位置へ照射できるようにしている。

図3 各々の照射方式および、カスタム照射への対応

この原因が高次収差の増加であるということが確認され、高次収差を軽減することにより、さらに視力の質の向上をめざすように発展していった。高次収差成分を軽減するために開発され

たのが、収差解析装置とリンクして微細な照射のできるカスタムアブレーションである。

それぞれの照射法で、微細な照射ができるような工夫がされている。

5 カスタムアブレーション

カスタムアブレーションとは、個人の眼の状態に合わせて切除できる切除方法であり、wavefront-guided ablation と topography-guided ablation に大別される。通常の近視乱視成分（2次収差）以外に、高次の収差成分も含めて全眼球の収差を打ち消すような切除プロフィールを作成するのが wavefront-guided ablation である。表に示すように、おのこのレーザー別にリンクする収差解析装置がありその収差を打ち消すようなレーザー照射を行っている（表1）。topography-guided ablation は NIDEK 社および zeiss 社のレーザーに内蔵されており、屈折矯正術後の形状異常などに対して利用されている。

カスタムアブレーションの精度をあげるためには、偏心照射をさける必要がある点、術前座位での収差測定に対して手術時には臥位であるという点、なめらかなフラップ作成が必要である点などいろいろな問題を解決する必要がある。以下、それぞれの問題点を解決するための方法について述べていく。

偏心照射をさける

通常の近視成分乱視成分のみを切除する以外に細かい収差成分を軽減するためには中心にきちんとレーザー照射が当たる必要がある。当初のレーザーは術者がマニュアルで瞳孔中心とレ

表 1

	AMO	NIDEK	Technolas	Carl Zeiss Meditec
レーザー機種	Visx StarS4IR	Quest	Tecnolas217Zyoptix	MEL80
照射方式	ブロードビーム	スリットスキャンニング	フライングスポット	フライングスポット
収差解析装置	Wavescan	OPD-scan	Zywave	WASCA
収差解析方式	HS	topography + retinoscopy	HS	HS
トポグラフィー	Custam CAP	OPD-scan	Orbscan	TOSCA

HS：ハートマンシャック方式

レーザー照射中心を合わせる必要があったが、瞳孔中心を検出してレーザーの照射中心を自動であわせるシステムが導入されるようになった。術前に撮影した瞳孔画像と術中に赤外線照明のもと撮影される瞳孔画像を認証して追尾し、ずれが大きく生じた場合はレーザーを自動停止させるのである。アイトラッキングシステムは現在のレーザー機種にはすべて内蔵されている。

眼球回旋補正について

通常術前の角膜形状解析は座位でおこなっているが、手術時には臥位の状態である。通常眼球は姿勢の違いによって平均 2.2 度ずれるといわれており、そのずれを補正するシステムが内蔵されている。術前検査時に角膜輪部および虹彩紋理を計測し、術中認識することによって眼球の回旋や瞳孔中心の移動を検出するシステムが内蔵されてきている（図 4）。



図 4 虹彩紋理の認識（術中画面）
角膜輪部および虹彩紋理を検出し、術前との差異を補正している。

なめらかなフラップ作成について

従来使用されてきた、マイクロケラトームに対してなめらかな切除面ができるというメリットのあるフェムトセカンドレーザーが 2000 年に降に出現した。これについては次の項目として

述べる。

以上のようにさまざまな照射に関する工夫がされてきたが、現時点では高次収差そのものを術前よりも減少させることはできないが、コマ収差の増大はおさえることができるまでに進歩してきた⁵⁾。これにより、夜間のハローグレアの程度が軽減され、夜間の運転にも問題のないくらいまで矯正精度としては向上してきた。現在、レーシック希望者のなかでカスタム照射を希望される方の割合は増えてきている。

6 フェムトセカンドレーザーの登場

フェムトセカンドレーザーとは、波長 1053 nm の近赤外線レーザーで、1000 兆分の 1 分間隔という超短パルスエネルギーを発生させることができる。焦点のあった照射組織のみを光ディストラクションさせて気泡の発生とともに数ミクロンの空隙を作ることができる。この空隙を一定間隔で連続させて作成することにより、周辺組織に熱拡散の影響を及ぼさずに切開することが可能となる。このレーザーの応用として、フラップ作成、近年ではエキシマレーザーを使用しない屈折矯正法が登場してきた。

各種フェムトセカンドレーザーが販売されているが、国内認可を受けているのはイントラレーズ[®]FS レーザーのみである。その他、Visu Max[™] や technolas[®]520 など各社のフェムトセカンドレーザーが市販されている。

フラップ作成

通常ケラトームで作成したフラップは中央が薄く周辺部は厚いフラップが作成されていることが知られており、カスタム照射の精度を上げるためにはより均一で切除面の平滑なフラップが必要であった。それを実現させたのが、フェムトセカンドレーザーによるフラップ作成である⁶⁾。また、自由にフラップ作成時の角度をかえられるために手術後にずれることのないフラップの作成が可能となった。ケラトームで作成したフラップはなめらかな面であるため術直後にフラップずれをおこすことがまれではあった

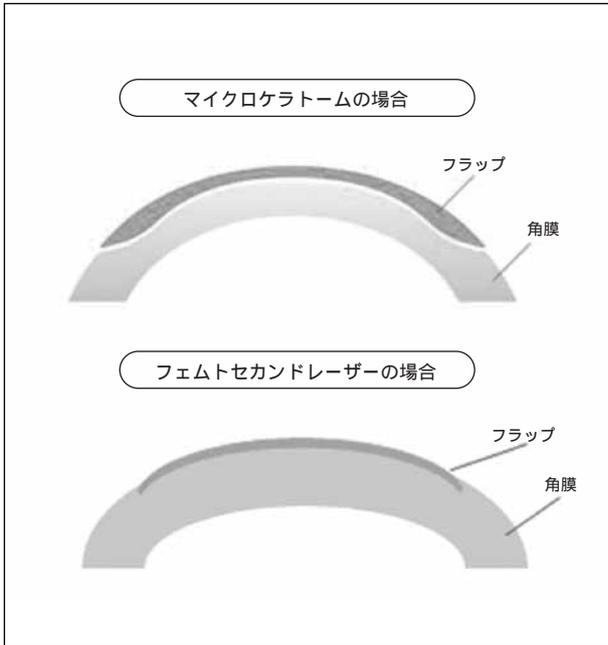


図5 作成法によるフラップの違い：マイクロケラトームでは周辺にいくほど厚いフラップが作成されるのに対して、フェムトセカンドレーザーでは均一な厚みのフラップ作成が可能である。角膜への入射角度が自由に設定できるため直角（90度）などに設定しずれにくいように調整が可能である。

が生じていた。フェムトセカンドレーザーで作成したフラップは術直後にフラップずれをおこす可能性はかなり低い（図5）。

老視矯正手術

フェムトセカンドレーザーのみで実質切除を行い、老視矯正を行う方法は IntraCOR[®] とよばれており、TECHNOLAS Femtosecond Workstation 520 でのみ行うことができる。角膜実質にリング状の切開をいれて角膜を多焦点レンズ化するというものである（図6）。現段階の適応としては軽度遠視を伴っている老視眼となっており、通常遠見視力が良好な症例のみとなっている。

今後、さまざまな老視症例へ適応が拡大されることを期待したい。

以上、エキシマレーザーおよびフェムトセカンドレーザーによるレーシック手術の変遷について説明した。眼鏡やコンタクトレンズを装着しなくてもよりよい視機能を得る試みは今後も

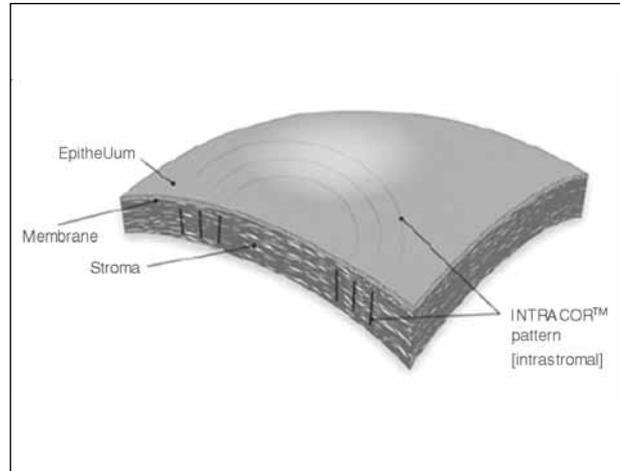


図6 IntraCOR[®]での切除形式：角膜実質に直接切除をいれ、多焦点レンズを作成する

続いていくであろう。眼科医としては、レーザーの恩恵をうけながらその利点欠点を長期で経過観察して確認し、本当によい方法を選択して受け継いでいく必要があると考える。

参考文献

- 1) Pallikaris IG, Papatzanaki ME, Stathi EZ *et al.* Laser in situ keratomileusis. *Lasers Surg Med.* **10**: 463-8, 1990.
- 2) 堀 好子, 島崎潤: LASIK 術後の感染症について. *眼科手術* **22**: 487-490, 2009.
- 3) 稗田牧: 角膜屈折矯正手術の現状. *眼科* **52**: 1793-1800, 2010.
- 4) Bailey MD, Mitchell GL, Dhaliwal DK *et al.* Patient satisfaction and visual symptoms after laser in situ keratomileusis. *Ophthalmology.* **110**: 1371-8, 2003.
- 5) 稗田牧: ウェーブフロント・レーシック (wavefront-guided LASIK). *IOL & RS* **18**: 394-9, 2004.
- 6) 山村陽, 稗田牧, 木下茂ほか: フェムトセカンドレーザーフラップによる LASIK の治療成績. *臨眼* **63**: 903-8, 2009.

中村 葉 (なかむら よう)

京都府立医科大学 眼科 客員講師

稗田 牧 (ひえだ おさむ)

京都府立医科大学 眼科 助教