

## 眼科用エキシマレーザーにおける照射周辺環境の影響

征矢 耕一<sup>1)</sup>, 小幡 博人<sup>2)</sup>, 天野 史郎<sup>2)</sup>, 宮田 和典, 水流 忠彦<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>関東通信病院眼科, <sup>2)</sup>東京大学医学部眼科学教室, <sup>3)</sup>東京大学医学部附属病院角膜移植部

### 要 約

エキシマレーザーを用いた角膜切除手術において、矯正精度を向上させるためには正確な切除率の設定が重要である。今回我々は、照射面に発生する微塵の除去を目的とした照射周辺環境の変化が切除率に及ぼす影響を比較し、精度の高いキャリブレーション法について検討を行った。エキシマレーザー装置はニデック社製スキャンニング照射方式のEC-5000を使用した。対象として、polymethylmethacrylate (PMMA) 製プレートをを用い、屈折矯正 (PRK) モードの照射を行った。照射周辺環境は照射面に対し、①十分な風の吹き付けによる発生微塵の除去 (ブロー群)、②2.5 l/min の吸引による除去 (吸引群)、および③無処置群とした。また、レーザーの繰り返し周波数は10, 30, 50 Hz と変化させて照射を行った。照射後に、レンズメーターを用いて切除率を算出すること

により、周辺環境変化に伴う切除率変化を検討した。また、各条件の切除面を走査型電子顕微鏡 (走査電顕) を用いて観察した。ブロー群では周波数変化に影響を受けない安定した切除率が得られたのに対して、吸引群および無処置群では、繰り返し周波数の増加に伴い切除率は低下した。この切除率の低下傾向は無処置群で強く現れた。走査電顕ではブロー群で最も平滑な切除面が観察された。矯正精度の高いエキシマレーザー角膜切除術を施行するためには、十分なブローを加えたPMMAでのキャリブレーションを行うことが重要であると考えられた。(日眼会誌 99: 1242-1247, 1995)

キーワード: エキシマレーザー, キャリブレーション, 切除率精度, 照射周辺環境

## Effects of Blowing or Aspiration on Ablation Rate by Excimer Laser

Koichi Soya<sup>1)</sup>, Hiroto Obata<sup>2)</sup>, Shiro Amano<sup>2)</sup>

Kazunori Miyata<sup>2)</sup> and Tadahiko Tsuru<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Ophthalmology, Kanto Teishin Hospital

<sup>2)</sup>Department of Ophthalmology, The University of Tokyo School of Medicine

<sup>3)</sup>Section of Corneal Transplantation, University Hospital, University of Tokyo School of Medicine

### Abstract

Accurate calibration of ablation rate by excimer laser prerequisite for precise photorefractive keratectomy (PRK). When a polymethylmethacrylate (PMMA) plate is ablated by excimer laser, debris is generated, which may affect homogeneity of the laser beam and energy density, and change the ablation rate. In order to clarify the effects of the debris on the ablation rate, we studied the changes in the ablation rate when the debris was removed by blowing or aspirating over the ablation area during PRK. PMMA plates were ablated using a scanning excimer laser system (EC-5000, NIDEK, Japan) in PRK mode under the following conditions: ① with air blowing over the ablation area, ② with aspiration of the debris, and ③ without treatment. The ablation rates were determined by measuring the refractive power of PMMA plates with a lens meter. The ablated surface was observed

by scanning electron microscope (SEM). The ablation rate with blowing was the highest among the three conditions, that with aspiration was the second, and that without treatment was the lowest. The ablation rates with blowing showed no significant change when the ablation rates were changed. However, the ablation rates with aspiration or without treatment decreased as the pulse rate increased. The surface ablated during blowing was the smoothest in SEM photographs. We concluded that calibration of the ablation rate using PMMA plates must be done with appropriate air blowing. (J Jpn Ophthalmol Soc 99: 1242-1247, 1995)

Key words: Excimer laser, Calibration, Ablation rate, Surrounding environment on ablation area

別刷請求先: 113 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学医学部眼科学教室 征矢 耕一

(平成7年6月1日受付, 平成7年7月19日改訂受理)

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

(Received June 1, 1995 and accepted in revised form July 19, 1995)

## I 緒 言

現在のエキシマレーザー屈折矯正術において、矯正精度に影響を与える因子は、①レーザー装置の問題、②照射対象の問題、③照射周辺環境の問題および、④術後管理の問題の4点であると考えられる。この観点から、矯正精度の高い角膜切除術を達成するための第一条件は、①の装置の状態を十分に把握すること、つまり切除術を正確に把握することであり、そのためには③の照射周辺環境が大きく関与すると、我々は考えている。装置の状態把握を目的に、現在使用されているすべての機種において、各症例毎に無機物を用いた切除率のキャリブレーションが行われている。しかし、無機物にエキシマレーザーを照射すると、角膜照射時よりも多量の微塵が発生し、この微塵がレーザーのエネルギー密度を低下させる、あるいは不均一にさせることが予想される。つまり、キャリブレーション精度の低下をまねくことになると考えられる。この微塵を除去するためにはガスによる吹き飛ばし、あるいは吸引する方法が考えられる。しかしながら、現在まで微塵の発生と切除率の関係については、体系的な検討が十分には行われていない<sup>1)~4)</sup>。

今回我々は、エネルギーの吸引率などの面からエキシマレーザーと相性が良く、このため、多くの装置でキャリブレーションに使用されている polymethylmethacrylate (以下、PMMA) 製プレートを対象に、エキシマレーザー照射時に発生する微塵の除去法、つまり照射周辺環境 (以下、周辺環境) を変化させた場合の切除率変化を比較し、矯正精度を向上させるためのキャリブレーション時における至適周辺環境を検討した。

## II 実験方法

対象には PMMA 製の平板プレートを用い、スキャニング照射方式のエキシマレーザー装置 EC-5000 (NIDK 社) で屈折矯正術 (以下、PRK) モードの照射を行った。

### 1. 照射条件

照射条件は直径 5 mm、エネルギー密度 45 mJ/cm<sup>2</sup>、照射数 76 scan とし、これらは固定条件とした。繰り返し周波数 (以下、周波数) は 10, 30, 50 Hz の 3 条件を用いた。また、周辺環境は、①ブロー装置を用いた微塵の十分な吹き飛ばし (以下、ブロー群)、② 2.5 l/min の微塵吸引 (以下、吸引群) および、③ 無処置群の 3 条件とし、これらを組み合わせた 9 条件の照射をそれぞれ 10 回ずつ施行した。図 1~3 にブローおよび吸引群の照射状態および吸引装置を示す。

### 2. 切除率の算定

レーザー照射後の PMMA プレートの球面度数をレンズメーター (LM-100<sup>®</sup>, NIDEK 社) で測定した後に、この屈折力測定値から切除率を算定し、各々 10 回の平均値をもって周辺環境および照射条件の変化に伴う切除率変

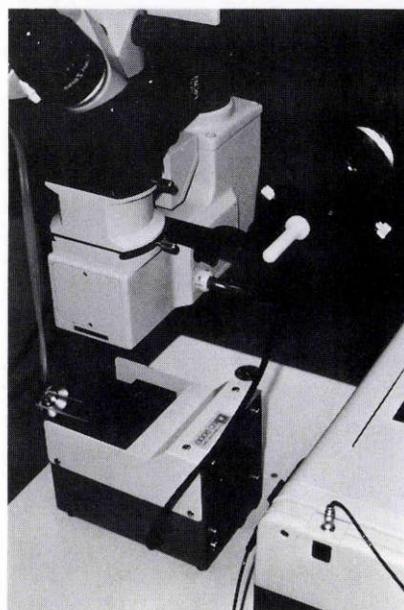


図1 Polymethylmethacrylate (PMMA) に対するブロー装置を用いた照射。中央下方のファン内蔵装置を用いて照射面に平行なブローを行っている。

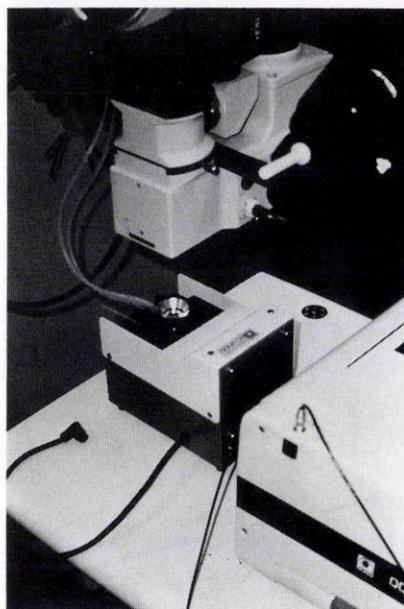


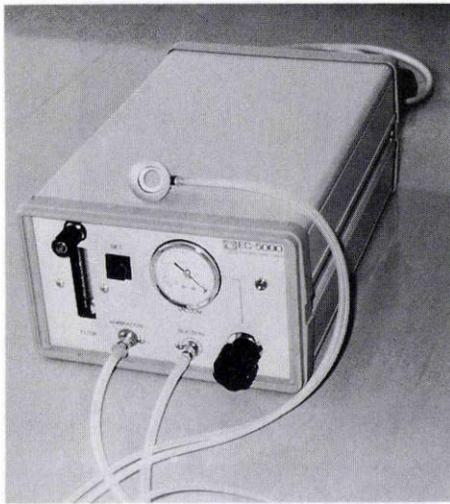
図2 PMMA に対する微塵吸引装置を用いた照射。微塵吸引装置を用いて照射面に 2.5 l/min の吸引を行っている。ブロー装置はオフ状態である。

化の解析を行った。

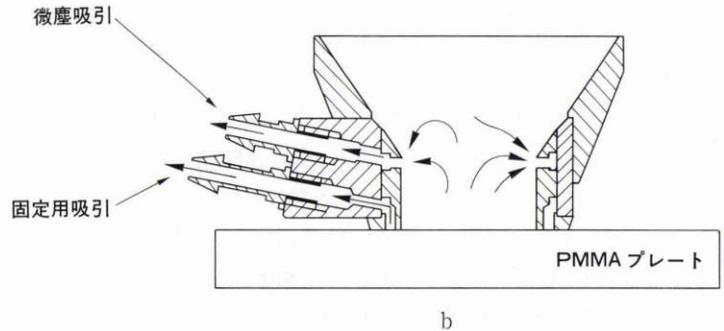
### 3. 走査型電子顕微鏡による観察

フィールドエミッション走査型電子顕微鏡 (JSM-6301 F, 日本電子: 以下、SEM) を用いて各条件における照射面の性状を観察した。

観察条件は加速電圧 3 kV、試料傾斜角 40°、白金コーティング厚さ約 100 Å とした。



a



b

図3 吸引装置の概観(a)と概要(b).

b: 断面図に示されている表面吸着および微塵除去用の吸引孔を円周上に6点有する装置である.

### III 結果

#### 1. 切除率の変化

周波数および周辺環境変化に伴う切除率変化を図4に示す. 照射面をブローした場合は, いずれの周波数においても切除率は明らかな変化を示さなかった. これに対し, 吸引群および無処置群では, 周波数が大きくなると切除率が低下する同傾向を示した. また, 各周波数ともに切除率はブロー群で最大, 無処置群で最低値を示した. 吸引群

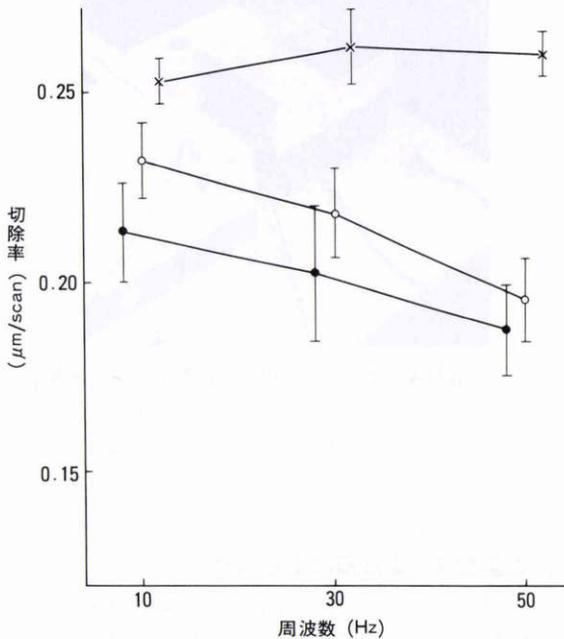


図4 周波数および周辺環境変化による切除率変化 (平均値±標準偏差)

×: はブロー群, ○: は吸引群, ●: は無処置群の切除率をそれぞれ示す. 各点は平均値, バーは標準偏差を表す.

の切除率は低周波数(10 Hz)ではブロー群と無処置群の中間的な値を示したのに対し, 高周波数(50 Hz)では無処置群とほぼ同等の値を示した. 標準偏差はブロー群で小さく, 吸引群と無処置群ではほぼ同等の大きさを示した.

#### 2. 走査型電子顕微鏡による観察

周波数 50 Hz におけるブロー群の SEM 像を図5, 6に, また無処置群の SEM 像を図7, 8に示す. 照射面の全体像では同心円が周辺部ほど密に分布する PRK モードの照射面が示された(図5, 7). この同心円状の輪郭はブロー群においてシャープに現れたが(図5), 無処置群では全体的にやや鈍的であり, 部分的に不明瞭であった(図7). また高倍像では, ブロー群で非常に均一な切除面を呈している(図6)のに対し, 無処置群では不規則な凹凸面を呈していた(図8).

### IV 考 按

エキシマレーザー角膜切除術は, 近年の屈折矯正手術の隆盛を背景に世界的な普及の兆しをみせている. しかし, この術式は歴史が浅いために<sup>5)~7)</sup>, 問題点が指摘されては臨床使用に平行して改善が加えられているのが現状である. 幾つかの問題点の中で強度近視症例における矯正精度の低下<sup>8)~10)</sup>は, その原因として無機物を用いたキャリブレーションの精度不足や実際の角膜照射時の術時間延長などに起因する照射面の含水率の変化などが考えられる. したがって, この両者に対して周辺環境の影響を検討することが矯正精度の改善につながると推察される. 無機物を対象とするキャリブレーションにおいては, レーザー照射面に多量の微塵発生が観察され, この微塵がキャリブレーション精度の低下を招く主因になると考えられる. したがって, 周辺環境を適切に設定し, 微塵の除去を行うことによってキャリブレーション精度は向上

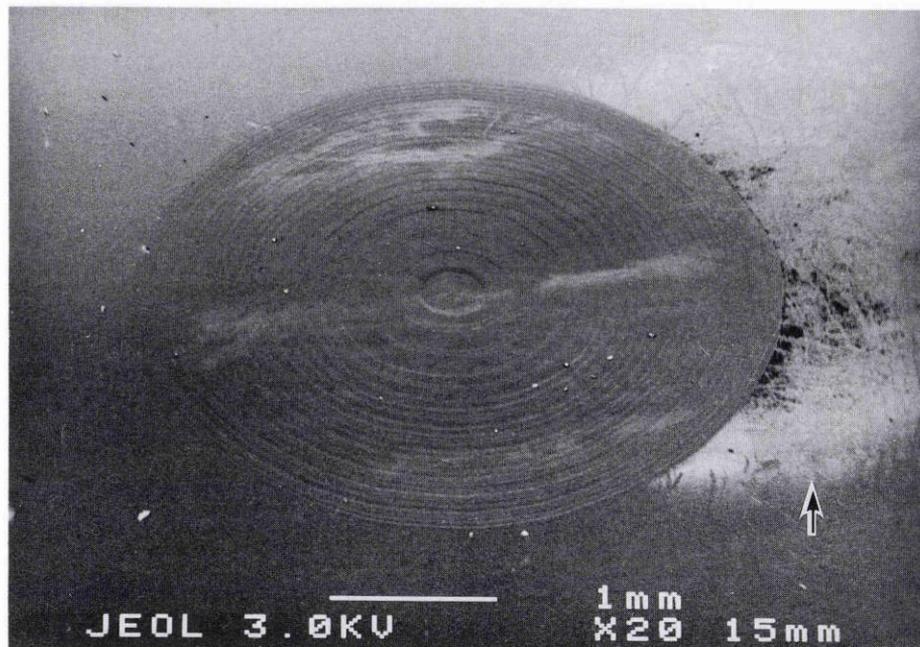


図5 ブローによる屈折矯正(PRK)モード照射の走査型電子顕微鏡(SEM)像。  
周波数 50 Hz, ブロー照射での照射面の全体像を示す。明瞭な同心円状の切除面が観察された。発生した微塵が風下の照射面外に固着している様子が観察された(矢印)。バーは 1 mm

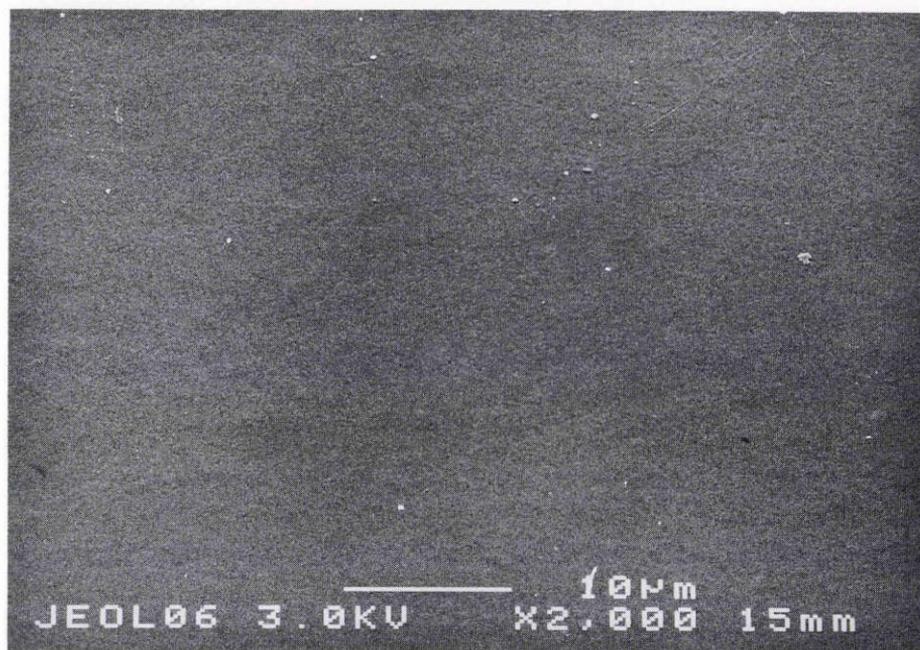


図6 ブローによる屈折矯正(PRK)モード照射の高倍像。  
周波数 50 Hz, ブロー照射での高倍像を示す。均一かつ平滑な切除面が示された。バーは 10 μm

すると考えられる。

この周辺環境問題に関して、照射面を吸引したり、各種ガスでブローする試みを論じた報告<sup>2)~4)</sup>を散見するが、これらは主として角膜において行われたものである。つまり、キャリブレーション用の無機物を角膜と同等に扱ったものであり、キャリブレーション精度の向上を体系的に検討した報告はない。

そこで今回は、エネルギーの吸収率などの面からエキ

シマレーザーと相性が良く、このため多くの装置でキャリブレーションに使用されている PMMA プレートを用いて、エキシマレーザーのキャリブレーションにおける至適周辺環境の検討を行い、装置の状態把握のための最善策を考察した。

今回の実験では、PMMA プレートはブローした場合に周波数変化の影響を受けない安定した切除率が得られ、標準偏差も小さかった。そして吸引群および無処置群

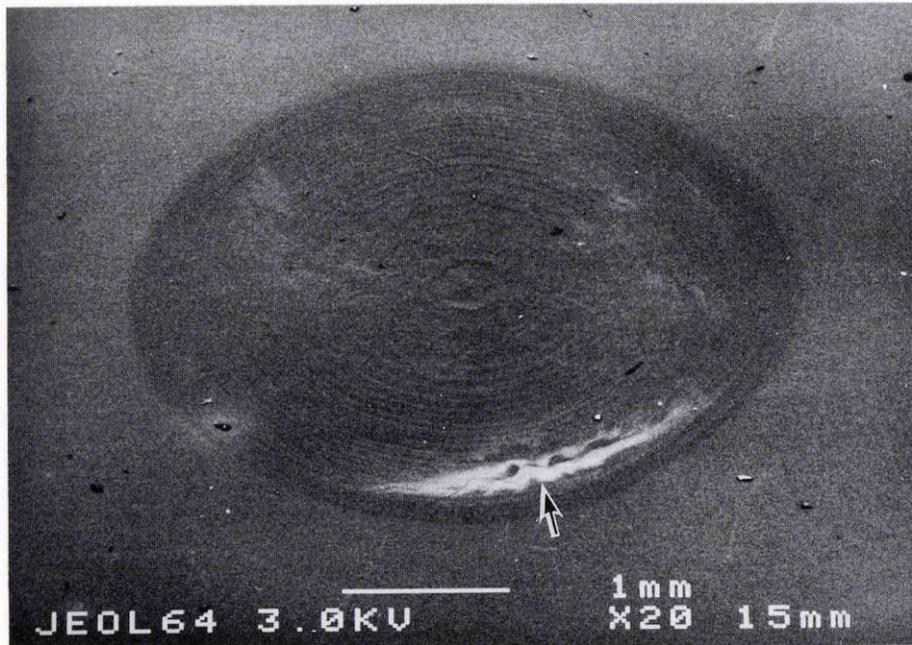


図7 無処置によるPRKモード照射のSEM像.

周波数 50 Hz, 無処置照射での照射面の全体像を示す. 同心円状の切除面の輪郭は部分的に不明瞭であった. 発生した微塵が照射面内に観察された(矢印). バーは 1 mm

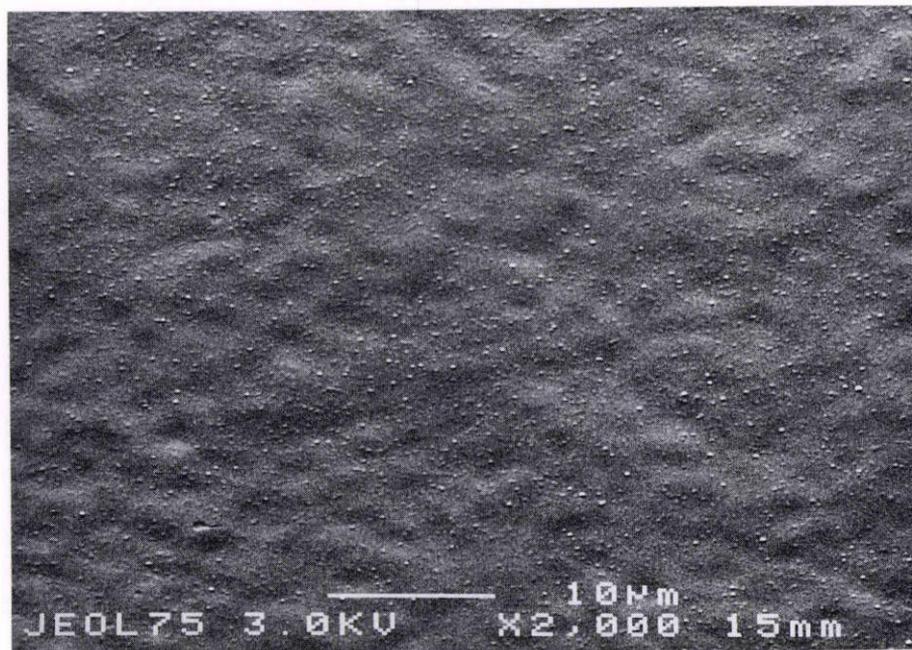


図8 無処置によるPRKモード照射の高倍像.

周波数 50 Hz, 無処置照射での高倍像を示す. 不規則な凹凸面が観察された. バーは 10  $\mu$ m

では, 周波数が高いほど切除率はブローの値より減少する傾向を示した. この結果は, 発生した微塵がレーザーのエネルギー密度を低下させることを示唆するものと考えられる. 無処置群において周波数が高いほど切除率が低下する現象は, 高周波数, つまり各 scan の間隔が短いほど照射面外へ自然拡散する微塵の量が少なくなり, 照射面上の残存微塵が増加することが原因ではないかと考えることができる. 今回使用した EC-5000 での 76 scan に要す

る照射時間は, 周波数 10 Hz で 79 秒, 同 30 Hz で 26 秒, 50 Hz で 16 秒であった. さらに, 吸引群での切除率が無処置群よりもやや高いながら同様の傾向を示し, また, ブローと比較すると明らかに低い値を示したことは, 2.5 l/min 程度の吸引では十分な微塵除去効果が得られないことを示唆する結果であった.

SEM 像において, ブロー群で同心円が明瞭で, 照射面が平滑に観察されたのは, 微塵除去によってレーザーの

エネルギー密度が均一に保たれた結果であり、これに対して、無処置群でみられた照射面の凹凸不整は、発生した微塵によるエネルギー密度の不均一性が原因していると考えられた。

今回の結果から、実際のエキシマレーザー屈折矯正術の矯正精度に与える影響を検討してみる。周波数を30 Hzでキャリブレーションを行った場合、ブロー群に対して吸引群では $0.218(\mu\text{m}/\text{scan}:\text{吸引群})/0.262(\mu\text{m}/\text{scan}:\text{ブロー群})=0.832$ ,つまりキャリブレーション完了時において、すでに装置の切除能力は17%減じた評価を受けてしまうことになり、理論上は角膜においても17%の矯正誤差を生む結果となる。この値は、キャリブレーション段階での周辺環境の差が臨床上説明不能な矯正誤差を生じる原因となることを意味するものである。

さて、当初熱影響の少ないレーザーと考えられていたエキシマレーザーが、少なからず熱を発生することが報告<sup>11)12)</sup>されている。照射面の温度測定を行っていない今回の実験では、熱発生が切除率に影響を与える可能性は否定出来ない。しかし、本実験において、ブローは照射面に平行に行われていることから、ブロー群のみに冷却効果が大きく現れたとは考えにくく、また、我々の未発表データではPMMAプレートが対象の場合は、エネルギー密度を変化させても切除率には影響が現れなかったことから、発熱が切除率に与える影響は、微塵とは比較にならないほど小さいものであると考えている。

本実験から、無機物、特にPMMAを対象に装置の状態を正確に把握し、高精度のキャリブレーションを行うためには、十分な風で照射面を清浄することが重要であることが示唆された。

前述のように、真の矯正精度の改善は、①無機物を用いたキャリブレーション時、および②角膜照射時の両者の安定した切除率を設定して初めて実現するものである。角膜照射時は微塵発生はほとんど問題にならないかわりに、Doughertyら<sup>13)</sup>が報告するように実質の含水量変化が切除率を不安定にする大きな要因と推察される。したがって、キャリブレーション時には不可欠と考えられるブロー法は、実際の角膜照射時には乾燥を誘発するだけの非現実的な方法であると考えられる。一方、Kruegerら<sup>3)</sup>の報告するような湿度の高い気体を吹き付ける方法では、角膜照射面の乾燥は避けられるものの、逆に実質の膨潤を招く可能性が残される。さらに、手術室の湿度の影響も大きいと考えられ、現在のところ、現実的な矯正精度の向上は容易には得難いと考えられる。

今後はキャリブレーションとは別の次元で、角膜の含水率変化の問題を中心に角膜照射時の周辺環境ないしは手術法の検討を進め、矯正精度の真の改善を図る必要が

あると考えられる。

## 文 献

- 1) **Waring GO**: Development of a system for excimer laser corneal surgery. *Trans Am Ophthalmol Soc* 87: 854—983, 1989.
- 2) **Campos M, Cuevas K, Garbus J, Lee M, McDonnell PJ**: Corneal wound healing after excimer laser ablation. Effects of nitrogen gas blower. *Ophthalmology* 99: 893—897, 1992.
- 3) **Krueger RR, Campos M, Wang XW, Lee M, McDonnell PJ**: Corneal surface morphology following excimer laser ablation with humidified gases. *Arch Ophthalmol* 111: 1131—1137, 1993.
- 4) **Maguen E, Nesburn AB, Papaioannou T, Salz JJ, Macy JI, Warren C**: Effect of nitrogen flow on recovery of vision after excimer laser photorefractive keratectomy without nitrogen flow. *J Refract Corneal Surg* 10: 321—326, 1994.
- 5) **Trokel SL, Srinivasan R, Braren B**: Excimer laser surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol* 96: 710—715, 1983.
- 6) **Puliafito CA, Steinert RF, Deutsch TF, Hillenkamp F, Dehm EJ, Adler CM**: Excimer laser ablation of the cornea and lens. *Ophthalmology* 92: 741—748, 1985.
- 7) **Marshall J, Trokel SL, Rothery S, Krueger RR**: Photoablative reprofiling of the cornea using an excimer laser: Photorefractive keratectomy. *Laser Ophthalmol* 1: 21—48, 1986.
- 8) **Sher NA, Barak M, Daya S, DeMarchi J, Tucci A, Hardten DR, et al**: Excimer laser photorefractive keratectomy in high myopia. A multicenter study. *Arch Ophthalmol* 110: 935—943, 1992.
- 9) **Brancato R, Tavola A, Carones F, Scialdone A, Gallus G, Garancini P, et al**: Excimer laser photorefractive keratectomy for myopia: Results in 1165 eyes. *Refract Corneal Surg* 9: 95—104, 1993.
- 10) **Leroux les Jardins S, Auclin F, Roman S, Burtschy B, Leroux les Jardins J**: Results of photorefractive keratectomy on 63 myopic eyes with six months minimum follow-up. *J Cataract Refract Surg* 20(Suppl): S223—S228, 1994.
- 11) **Seiler T, Fantes FE, Waring GO, Hanna KD**: Laser corneal surgery. In: Waring GO (Ed): *Refractive Keratectomy*, Mosby Year Book, St Louis, 669—745, 1992.
- 12) **Tsubota K, Toda I, Itoh S**: Reduction of subepithelial haze after photorefractive keratectomy by cooling the cornea. *Am J Ophthalmol* 115: 820—821, 1993.
- 13) **Dougherty PJ, Wellish KL, Maloney RK**: Eximer laser ablation rate and corneal hydration. *Am J Ophthalmol* 118: 169—176, 1994.