炭酸ガスレーザーとエルビウム YAG レーザー 大西 泰彦

シンポジウム 6

炭酸ガスレーザーとエルビウム YAG レーザー

大西 泰彦

はじめに

レーザーを標的対象と作用機序から分類すると、皮膚の色に対する選択的治療と組織蒸散による非選択的な焼灼に分けられる。Qスイッチ・ルビーやQスイッチ・アレキサンドライトあるいはQスイッチ・YAGレーザーなどはメラニンを標的とし、色素レーザーはヘモグロビンを標的として色を選択的に破壊する。一方炭酸ガスレーザー(発振波長10,600 nm)やエルビウムYAGレーザー(発振波長2,940 nm)は、ともに水への高い吸収率を示し、組織あるいは細胞内の水に吸収され局所に爆発的な熱エネルギーを生じさせることで組織を非選択的・無作為的に破壊する。今回はこの炭酸ガスレーザー、エルビウムYAGレーザーについて各々の概要と治療の実際について述べる。

1. 炭酸ガスレーザー

炭酸ガスレーザーを出力方式から分類すると、連続発振=Continuous wave (以後 CW) と、短パルス式に分けられる。CW はレーザーメスとして従来から使用されてきた方式で、組織の切開・凝固・蒸散をはかる。短パルス式は近年開発されたもので、周囲への熱ダメージをより少なくし、表層の病変の除去 ablationに有用である。

我々の使用している炭酸ガスレーザーは、CW・短パルス兼用の NIDEK 社製ユニパルス COL-1040 で、波長 10,600 nm、出力は 0.5 W から 40 W まで、短パルスモードでのパルス幅は 15 W 以下で 630 μsec 以下とされている. またスポット径が 1 mm の scanning システムを搭載し、さまざまな形・大きさの照射野に対して対応が可能である。まず従来からの方式である CWを用いた治療を、次に短パルス式での治療を述べる.

1) CW 方式炭酸ガスレーザーによる治療

症例1(図1):腹部の表皮母斑.4W・defocused beam で蒸散.右は術後6カ月で,若干の赤みと色素沈着・瘢痕化があるが平坦で再発はない.

症例2(図2):耳後から耳下部の表皮母斑. 3W・

虎の門病院皮膚科

別刷請求先:東京都大田区大森中1—18—6 大西医院

defocused beam で蒸散. 右は術後 6 カ月だが, 瘢痕は 目立たない.

症例 3(図 3): 母斑細胞母斑. 3 W で shave. 右は術後 3 カ月で良好な外観.

症例4(図4):星芒状血管腫.中心部を4Wで垂直に焼灼.右は術後6カ月で経過良好.星芒状血管腫では病変の中央に下床から立ち上がってくる血管があるため色素レーザーでも再発しやすい.そのような場合に炭酸ガスレーザーは有用.

症例 5 (図 5) :指腹の血管拡張性肉芽腫. 5 W・defocused beam で焼灼. 照射直後は黒色焼痂が付着. 1 カ月後には上皮化. 指の血管拡張性肉芽腫はクライオに抵抗性のことも多く, その場合は炭酸ガスレーザーが有用である.

症例 6 (図 6) : 血管拡張性肉芽腫. 4 W・defocused beam で焼灼. 2 カ月後には完治.

症例 7(図 7):頸部のアクロコルドン. 3 W・0.3~0.5 秒・defocused beam で個々に焼灼. 術後 6 カ月の状態では術前と比較して劇的に改善している. アクロコルドンは個々にはさみやクライオでもよいが, 小さく多発しているものは非常に手間がかかる. 炭酸ガスレーザーでは一気に多くの病変をしかも短時間で治療することが可能である.

症例 8 (図 8):下眼瞼の汗管腫. 3 W・0.3 秒・defocused beam で個々に焼灼. 術後 6 カ月では軽度の凹凸は残存するが満足の行く結果である.

症例 9(図 9):眼瞼黄色腫. 3 W・defocused beam で蒸散. 術後 6 カ月では軽度の瘢痕化があるが, 整容的に満足の行く結果である.

- 2) 短パルス式炭酸ガスレーザー
- (1) 短パルスが開発された経緯と従来の CW 方式と の比較

まず、水に吸収波長を持つレーザーで発生した熱のゆくえについて述べる(図 10). レーザーのエネルギーが吸収され、局所に生じた熱エネルギーは、細胞内の水の気化・破壊に消費され蒸気やちりとなって皮表から放散・冷却される他、周辺にも伝導・拡散し熱ダメージをおよぼしながら減衰・冷却されていく。レー





4 watt defocused beamで焼灼

術後6ヶ月

図1 CW 表皮母斑





図2 CW 表皮母斑





3 watt Tshave

術後3ヶ月

図3 CW 母斑細胞母斑





図4 CW 星芒状血管腫

ザー治療に際しては標的である病変部に熱ダメージが しっかりと及ぶことが重要だが、周囲の正常部には可



5 watt・defocused beamで焼灼



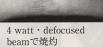
照射直後



1ヶ月後

図5 CW 血管拡張性肉芽腫



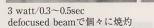




2ヶ月後

図6 CW 血管拡張性肉芽腫







術後6ヶ月

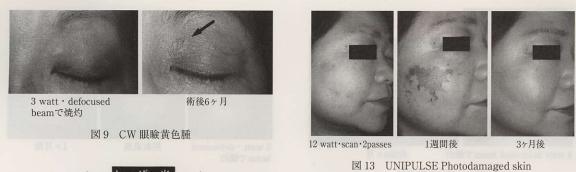
図7 CW アクロコルドン





図8 CW 汗管腫

能なかぎり熱ダメージがない、つまり病変部へ限局的かつ有効なダメージが及ぶのが理想である。しかし従来からのCW方式では照射部周囲への熱拡散をコン



水蒸気・ちり 皮表 皮表 組織の気化 周囲へ 拡散・減衰

図 10 レーザーで生じた熱のゆくえ



図11 各種レーザーによる熱ダメージの比較

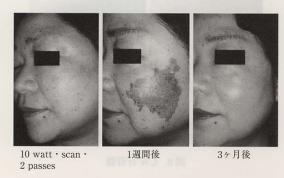


図 12 UNIPULSE Photodamaged skin 53 y · F

トロールすることは極めて困難であった. 特に表層の 病変の治療の際には、周囲や深部への無用な熱ダメー

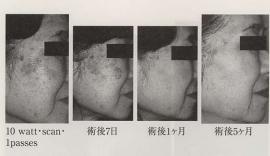


図 14 UNIPULSE Photodamaged skin 60 y · F

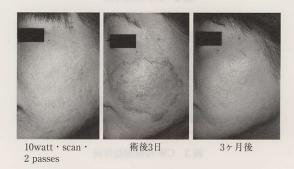
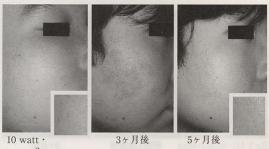


図 15 UNIPULSE Acne scar 25 y · F



図 16 UNIPULSE Acne scar 28 y · F

ジは直接瘢痕化の危険性を増す.この周囲への熱ダメージを極力少なくするために、レーザーの照射時間を皮膚の熱緩和時間 Thermal relaxation time 内に終



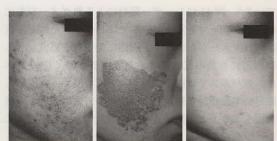
scan · 2 passes

図 17 UNIPULSE Acne scar 28 y · F



10 watt・scan・2passes 術後3ヶ月

図 18 UNIPULSE Acne scar 30 y ⋅ F



10 watt·scan·2passes

術後8日

術後3ヶ月

図 19 UNIPULSE Acne scar 30 y · F



12 w·scan·2~5passes

術直後

術後3ヶ月

図 20 UNIPULSE Epidermal Nevus 7 y · F

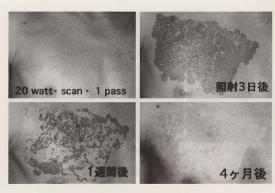


図 21 UNIPULSE Becker 母斑 18 y·M

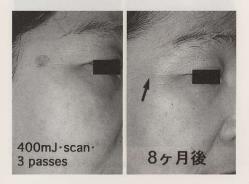


図 22 Er-YAG 老人性色素斑 54 y·F



図 23 Er-YAG 老人性色素斑 36 y · F

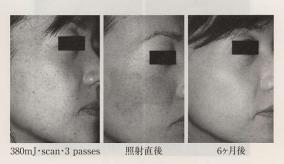


図 24 Er-YAG Photodamaged skin 40 y · F

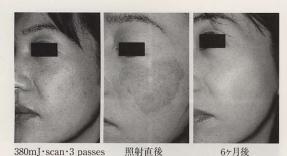


図 25 Er-YAG Photodamaged skin 40 y · F



図 26 Er-YAG Photodamaged skin 50 y · F

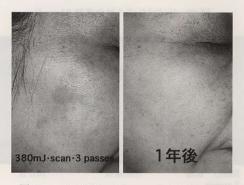
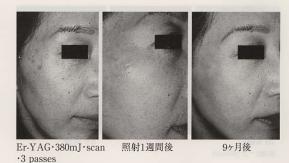


図 27 Er-YAG Photodamaged skin 58 y · F



図 28 Er-YAG Photodamaged skin 31 y · F



☑ 29 Er-YAG Photodamaged skin 50 y · F

了させる必要性が生じた. そこで開発されたのが短パ ルス式炭酸ガスレーザーで,皮膚の熱緩和時間を考慮 し極めて短い照射時間内で高い power を発すること により、周囲への無用な熱ダメージを減少させた。 な お純粋な水の熱緩和時間は325 µsec,皮膚では695 μsec と計算されており¹⁾,理論的にはこの時間内に レーザー照射が終了すれば周囲への熱拡散は押さえら れる. なお臨床的には照射時間が 950 μsec 以下であれ ば皮膚への著明な熱ダメージは避けられるとも言われ ている2. 図11にレーザー照射による熱ダメージを比 較したシェーマを示す. CW ではレーザー光による直 接の熱ダメージが大きく,周囲に炭化層を形成. さら に周辺にも熱の拡散によるダメージが深く広く及ぶ が、短パルスでは直接の熱ダメージも浅く、熱拡散も 限局的で炭化層も形成しない. この方式によって皮膚 表面をより少ない熱ダメージで蒸散することが可能に なり、表層病変もより安全に除去 ablation できるよう になった. また、繰り返して同じ部位を照射すること により、目的とする深さまで皮膚を段階的に ablation 除去することが可能である. つまり短パルス式は CW と比べて深部への熱拡散が少ない分、より表面的な治 療に向いたものと言うことができよう.

(2) 短パルス式炭酸ガスレーザーによる ablation 短パルス炭酸ガスレーザーを $10\sim15~\mathrm{W}$ (およそ $4\sim6~\mathrm{J/cm^2}$)で、1回照射した際の皮膚のダメージは $100\sim120~\mathrm{\mu m}$ と言われている $^{3.40}$. これは $50\sim60~\mathrm{\mu m}$ の蒸散層と熱の拡散による $50\sim75~\mathrm{\mu m}$ の変性層を加えたもので、概ね表皮全層から真皮乳頭層レベルまでのダメージと言える. 中岡ら 50 は小児の鼠径部皮膚を用いて短パルス式炭酸ガスレーザー照射後の組織を検討し、 $10~\mathrm{W}$ では有棘層のほぼ全層、 $15~\mathrm{W}$ では真皮乳頭層にまで熱ダメージが及ぶとしている.

表1 短パルス CO₂ レーザーの適応疾患

- · Photodamaged skin
- · Acne scarring
- Scars (traumatic, Postsurgical, varicella scars, etc)
- Facial wrinkles
- Pigmentation
- · Benign growths

(3) 短パルス式炭酸ガスレーザーの適応

欧米において、短パルス式炭酸ガスレーザーの適応 疾患とされているものを表1にまとめた. photodamaged skin とは顔面など日光裸露部に生じる多発性の 色素斑, くすみ, dry skin, 小じわ, テクスチャの変化, 皮膚の弾力性の減少などを総称したもので, 日光暴露 によって修飾された皮膚の加齢変化ととらえる. その 他, acne scar を含む瘢痕や顔面のしわ, 各種良性腫瘍 などが適応である. なおこのように皮膚の ablation をおこなって表皮の新生をはかる治療は skin resurfacing とよばれ、特にレーザーを用いる際には Laser skin resurfacing という. またその深さによって表皮の みを ablation する superficial resurfacing, 真皮乳頭層 から網状層上層までの medium depth resurfacing, 網 状層の中層までの deep resurfacing に分類される. 短 パルス式炭酸ガスレーザーも後述するエルビウム YAG レーザーも、この skin resurfacing を主な目的と したレーザーといえる.

(4) 短パルス式炭酸ガスレーザーでの治療例

症例 1 (図 12, 13): 53 歳, 女性. photodamaged skin. 10 W·2 pass で resurfacing を施行. 照射 1 週間後に は痂皮が脱落.3カ月後には軽い赤みがあるものの,多 発していた小色素斑は消褪し、texture も著明に改善 した. 図13は同患者の対側で同様に著明に改善した.

症例2 (図14):60歳,女性. photodamaged skin. 10 W·1 pass で resurfacing を施行. 術後7日で上皮 化. 5カ月経過し色素斑は著明に消褪. 色素沈着もな まとめる。上皮化は概ねるから7日で、短パルス式の

症例 3(図 15): 25 歳, 女性. acne scar. 10 W·2 pass で resurfacing を施行. 3日後ではまだ浸出があるが, 10日で上皮化.3カ月後には、凹凸が著明に改善した. 色素沈着もない.

症例 4 (図 16): 28歳, 女性の acne scar. 10 W・2 pass 施行. 10 日でほぼ上皮化し、術後3カ月で色素沈 着もなく凹凸が改善した.

症例 5 (図 17): 28 歳, 男性. acne scar. 10 W·2

表 2 短パルス CO₂ レーザーの術後合併症

一過性の腫脹:

2~3日後がピーク ● 色素増強

紅斑の接続:

真皮における血管新生 • かゆみ: 術後2週目頃

●感染:5~8%(ブ菌, 縁膿菌,ヘルペス)

ざ瘡

● 色素脱失(5~10%)

・紫斑→数週で消褪

瘢痕化:頸部の照射(注意) 成边時

拘縮:眼瞼のablation

→外反(注意)

pass 施行. 3カ月後では色素沈着が目立つが5カ月後 に軽快. 凹凸は術前と比較して目立たなくなった.

症例 6 (図 18, 19):30 歳,女性. acne scar. 10 W ・2 pass で resurfacing. 術後8日でほぼ上皮化. 右は 術後3カ月で凹凸と texture が著明に改善し、赤みも ない. 図 19 は同患者の対側.

症例 7 (図 20):7歳, 女児. 項部の epidermal nevus. 12 W · 2 から 5 pass 照射. 術直後は白色焼痂が付 着している. 術後3カ月では若干の残存はあるものの

症例8(図21):18歳, 男性. 胸部のベッカー母斑. 20 W·1 pass 施行. 1 週間でほぽ上皮化. 術後 4 カ月で は依然再発あるが有効.

(5) 短パルス式炭酸ガスレーザー治療後の経過

自験例における短パルス式炭酸ガスレーザー治療後 の代表的な経過を以下にまとめる. 上皮化は7日から 10日で完了したが、これ以上になると瘢痕化の危険性 が増す. つまりこの期間内に上皮化する程度の ablationを行うのが目標である.またほとんどの症例で,術 後しばらく照射部位に一致して紅斑が持続した. これ は真皮における血管新生および血流の増加に基ずくも のとされており、1~5カ月の経過で消褪した. なお照 射後の色素増強は頻発したが、ほとんどが一過性(2 ~6カ月)であった。この色素増強は教科書的には Fitzpatrick の skin type III で 20 か ら 30%, type IV 以上ではほぼ100%に生じるとされている。. しかし この skin type 分類は白人を中心につくられたもので あり、我々モンゴリアンにはあてはまらない面もあ る". 自験の範囲では日本人だからといって特に色素 沈着が生じやすいという印象はなかったが、患者の皮 膚の色、日焼け歴やその際の皮膚の反応を含めてよく 問診し、症例を選択することが大切であろう. また、 色素沈着の可能性については事前に十分な理解を得る ようにすることも重要である. なお短パルス式炭酸ガ スレーザーの一般的な術後合併症を表2に示した. Resurfacing の際には、特に頸部や眼瞼はそれぞれ瘢痕化 や拘縮を起こしやすい場所とされ注意を要する.

(6) 短パルス式炭酸ガスレーザーについてのまとめ 短パルス式炭酸ガスレーザーは CW と比べて熱ダ メージが少なく均一な蒸散層が得られ一定の深さの Ablation が可能である. また真皮に到達することに よってコラーゲンに収縮 shrinkage がおこり、結果的 に皮膚に「はり tightening」が生じて小じわの治療にも なる. さらに従来のグラインダーなどと比べて技術的 に簡便であり、術者間の格差をせばめ再現性が高い. など,多くの利点を有する.しかしその一方で特に skin resurfacing においては、術後の色素沈着の危険性 とその解決が大きな課題であることも事実である. 実 際の治療の際には、症例の選択とともに術後の徹底的 な遮光はもちろん, ハイドロキノンやこうじ酸クリー ムなどの外用、あるいはケミカルピーリングなどとの combined therapy も症例に応じて考慮しなければな らない。大力は第四十年出手目はアニコースのテノー

2. エルビウム YAG レーザー (以下 Er-YAG)

Er-YAG も短パルス式炭酸ガスレーザー同様,皮膚の ablation を目的として開発されたレーザーである. 我々は Candela 社製 Fotona skin light 使用している.

(1) Er-YAG の特徴と短パルス式炭酸ガスレーザー との比較

Er-YAG の発振波長 (2,940 nm) は水の最大吸収波長 に一致し、パルス幅は300 usec で皮膚の熱緩和時間よ りかなり短い. このことから組織への熱ダメージが極 めて少ないのが特徴である. また皮膚の ablation に必 要な最少エネルギー密度は, 短パルス式炭酸ガスレー ザーは5 J/cm² だが、Er-YAG は 1.6~2.5 J/cm² で、よ り少ないエネルギーでも ablation ができる®. これは レーザーエネルギーの水への吸収率が Er-YAG は炭 酸ガスレーザーの約16倍も高いためと考えられる. Er-YAG による皮膚のダメージは、エネルギーによる 差はあるものの, 1回の照射で概ね 15 から 45 μm と言 われている (10~40 μm の蒸散層+周辺への約 5 μm の熱変性層)⁹. したがって Er-YAG は短パルス式炭 酸ガスレーザーの 1/3 程度の厚みの ablation が可能 で、周囲への熱ダメージも約1/10と極めて少ない(図 11). Mcburney¹⁰⁾は、Er-YAG (3.5 J/cm²) を顔面皮膚 に照射すると1回 (1 pass) で表皮顆粒層直下まで,2 回では表皮のほぼ半分,3回照射で表皮全層が破壊さ れることを示した. このように Er-YAG は極めてデリ ケートかつ段階的な ablation をより安全に行うこと

を目的としたレーザーと言えよう.

(2) Er-YAG による治療例

症例 1 (図 22): 54 歳,女性.老人性色素斑.400 mJ·3 pass で ablation を施行.右は術後 8 カ月で色素 斑は消失した.

症例 2 (図 23): 36 才, 女性. 老人性色素斑. 380 mJ·3 pass で ablation. 5 日で上皮化し, 術後 10 日で色素斑は消失した.

症 例 3(図 24・25):40歳,女性. photodamaged skin. 380 mJ・3 pass で 頬 部 全体の resurfacing を 施行. 3 カ月ごとに 2 度の照射を行い,多発していた色素 斑は消失し texture も改善. 皮膚の色調も明るくなった. 図 25 は同患者の対側. 同様に 2 回の治療で皮膚の 若返りがはかられた.

症例4(図26):50歳,女性. photodamaged skin. 400 mJ·3 pass で頬部中心に resurfacing を施行.4 カ月後では皮膚の色調が一様になり,よりスムースな外観を呈している.

症例 5 (図 27): 58 歳,女性. photodamaged skin. 頬部を 380 mJ・3 pass で resurfacing. 図右は3回治療後で、色素斑の消失と texture の著明な改善がわかる.

症例 6(図 28):31歳,女性.強度の日光照射の後に生じた photodamaged skin. 360 mJ・2 pass で頬全体の resurfacing を施行. 4日後にはほぼ上皮化し,1 カ月後には多発する色素斑・くすみなどが消失し,皮膚の色調が明るくなった.

症例 7(図 29):50 歳,女性. photodamaged skin. 380 mJ・3 pass で右頬骨部中心に resurfacing を施行. 照射 1 週後ではほぼ上皮化したが照射部位の発赤が目立つ. 9 カ月後ではわずかに色素が残存するものの有効であった.

(3) Er-YAG 治療についてのまとめ

我々がおもに美容的な superficial resurfacing の目的で使用してきた Er-YAG について照射後の経過をまとめる. 上皮化は概ね5から7日で,短パルス式炭酸ガスレーザーと比較して早い治癒が期待できた. 術後の紅斑は若干深めに ablation した際に目立ったが、1カ月前後の早い時期に消褪した. 術後の色素増強は当初の予想より頻発したが、ほとんどが一過性で、1から6カ月で軽快した. なおこれらの経過は ablationする深さによって異なると考えたほうが自然であろう. Er-YAG でも強いエネルギーで深く ablation すれば、当然上皮化は遅く色素沈着も生じやすくなるはず

である。Er-YAG は周辺への熱ダメージが極めて少な いので, 従来の皮膚を削るグラインダーなどと同じく, 皮膚を削りとる機械のひとつとして扱うべきである う. 適応に関しては ablation で治療が可能な良性疾患 はすべてと言えるが、厚みのある腫瘍性疾患には幾度 も照射しなければならず、むしろ不向きである. superficial resurfacing の際には短パルス炭酸ガスレーザー と比較してより安全で治癒も早く,早期の社会復帰が 可能なことから, 美容皮膚科的需要にも十分応えられ るものと考えられる. しかし各種瘢痕や母斑などの治 療に用いる際には、より aggressive な ablation が要求

1) Walsh ST, Flotte TJ, Anderson RR, et al: Pulsed CO2 laser tissue ablation: effect of tissue type and pulsed duration on thermal damage, Lasers Surg Med, 8: 108, 1988.

文本とは電源観察で明らかになった(図1)、このよう

- 2) Fitzpatrick RE, Goldman MP: Carbon dioxide laser surgery: In: Fitzpatrick RE and Goldman MP (eds): Cutaneous laser surgery, 2 nd Ed, Mosby, St Louis, 279-337, 1999.
- 3) Kauvar AN, Geronemus RG and Waldorf HA: Char tissue ablation; a comparative histopathological analysis of new carbon dioxide laser systems, Lasers Surg Med, 16: 50, 1995.
- 4) Cotton J. Hood A. Gorin R, et al : Histologic evaluation of preauricular and postauricular human skin after high-energy short pulsed carbon dioxide laser, Arch Dermatol, 132: 425-428, 1996.
- 5) 中岡啓喜, 橋本公二, 大塚壽:短パルス炭酸ガス レーザー照射による正常皮膚の組織学的検討, 西 日皮膚, 61:221-223,1999.
- 6) Fitzpatrick RE, Goldman MP, Satus NM, Tope WD: Pulsed carbon dioxide laser resurfacing of photoaged facial skin, Arch Dermatol, 132: 395-

され注意を要する. Er-YAG では真皮乳頭層を越える と出血が始まるので ablation レベルのひとつの目安 になるが、その判断にはある程度の知識と経験が必要 と言われている110. なお最近欧米では短パルス式炭酸 ガスレーザーで一旦深く ablation したのち, Er-YAG を用いてさらにデリケートに ablation をするいわゆ る combination treatment も行われはじめている12).

以上炭酸ガスレーザー・エルビウム YAG レーザー を用いた治療について概要を述べた. 各々の特徴を知 り特性を生かした治療を行えば、数多くの良性疾患に 対応することが可能であり今後の成果が期待される.

どがあげられよう。また、研究目的で使用するには、矯 402, 1996.

- 7) 川田 暁:紫外線と光防御・スキンタイプ,漆畑 修, 宮地良樹, 本田光芳編:美容皮膚科プラクティ ス,南山堂,東京,81-96,1999.
- 8) Hohenleutner U, Hohenleutner S, Baumler W, Landthaler M: Fast and effective tissue ablation rates and thermal damage zones, Laser Surg Med, 20: 242-247, 1997.
 - 9) Perez MI, Bank DE, Silvers D: Skin resurfacing of the face with the Erbium YAG laser, Dermatol Surg, 24: 653-659, 1998.
- 10) McBurney EI: Physics of resurfacing lasers, In: Coleman WP, Lawrence N (eds): Skin resurfacing, 1 st Ed, Williams & Wilkins, Baltimore, 155-169, 1998.
 - 11) 松本敏明:第18回日本臨床皮膚外科学会(2000 年2月16日)
- 12) Fitzpatrick RE, Goldman MP: Skin resurfacing with carbon dioxide and erbium lasers, In: Fitzpatrick RE and Goldman MP (eds): Cutaneous laser surgery, 2 nd Ed, Mosby, St Louis, 339-436,