自宅で肌の若返りを可能にする1470nmダイオードレーザ

オシア・ウー、ケビン・ヤン

電気エネルギーを直接光に変換するモノシリック半導体デバイスであるダイオードレーザには、肌を若返らせる他のレーザ源と比較して、変換効率、サイズ、コストなど多くの利点がある。

レーザ技術は、太陽による皮膚のダメージ、傷跡、シワ、そばかすなどを効果的に治療する。1980年代に初めて美容皮膚用の炭酸ガス（CO_2）レーザが開発されて以来、皮膚を若返らせるためにレーザが幅広く使用されている。その技術は、切除式から非切除式、そして現在人気のフラクショナル方式へと進化している。

皮膚の若返り目的で最初に商品化された切除式のCO_2レーザは、皮膚組織内の水分を蒸発させることで最も大きな治療効果をもたらす。しかし、治療部位全体に切除レーザを照射する必要があるため回復に7～10日間かかり、感染や長期の紅斑、痂皮形成などの副作用リスクが高い。そのため、術前または術後の処置として、抗生物質の内服、冷却、抗炎症薬の投与などが一般的に行われている。

後に登場した非切除式のレーザはこれらの問題を克服したが、その結果に一貫性がなく、しばしば予測不可能である。2004年にマンシュタイン（Manstein）らが発表した分画光熱融解（FP）[1]は、治療のリスクと副作用を軽減し、ダウンタイムもないため、今日では人気を集めている。

分画光熱融解

FP機器は切除式と非切除式の2種類に分類される。このような治療では水が主なターゲット分子になるため、一般的に使用されるレーザの波長は水に吸光されやすく、メラニンやヘモグロビンに吸光されにくい。2.79～10.6μmのより長い波長、例えばCO_2レーザの10.6μmやEr:YAGレーザの2.94μmは、水の吸光が強いために組織を蒸発させる切除式レーザである（**図1**）。そのため、光が到達できる深さが最小限に抑えられている（**図2**）。

治療では、角質層は損傷を受け、皮膚に一定の深さの小さな穴が生じる。真皮により深く到達するためには、より高いエネルギー密度が必要である。エネルギー密度が蒸発のしきい値を超えると、結果として生じる深さは適用波長とは無関係になり、エネルギーと関連する。

より波長が短い1320～1927nmの範囲では、通常皮膚を切除しないが、熱効果によって皮膚組織が凝固する。

Er:glassレーザ（1540nm）、Nd:YAGレーザ（1320/1440nm）、ダイオードレーザ（1470nm/1550nm）は、非切除式のフラクショナルレーザ光源として最も一般的である。1470nmと1550nmにおける水の吸光は、Er:YAGレーザやCO_2レーザよりも低いが、810～1060nmよりも比較的高い（図1）。1470nmレーザは深さ400μm、1550nmレーザは深さ1600μmといったように、これらのレーザは真皮の奥まで到達できる。非切除式の治療では、角質層は損傷を受けないため、皮膚は無傷であり、表面的な損傷は見られない。

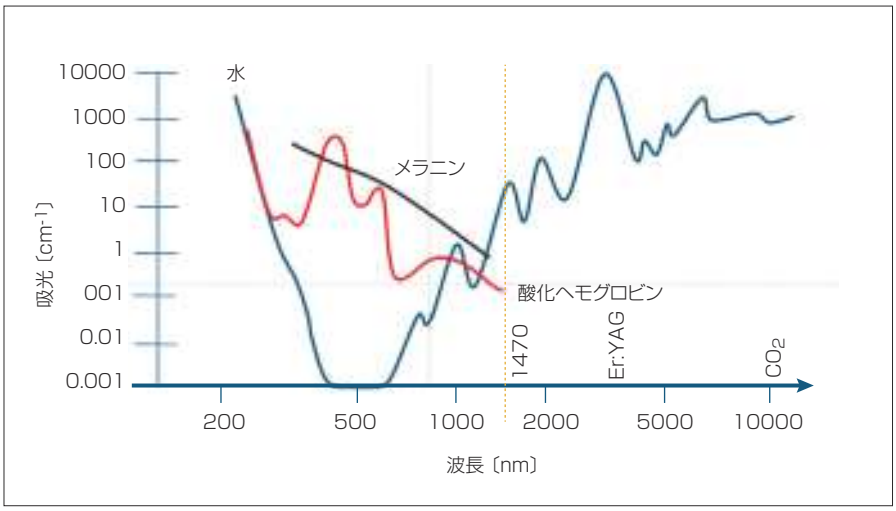

図1　分画光熱融解治療で一般的に使用されているレーザでは、水に吸光されやすく、メラニンやヘモグロビンに吸光されにくい波長を持つ。

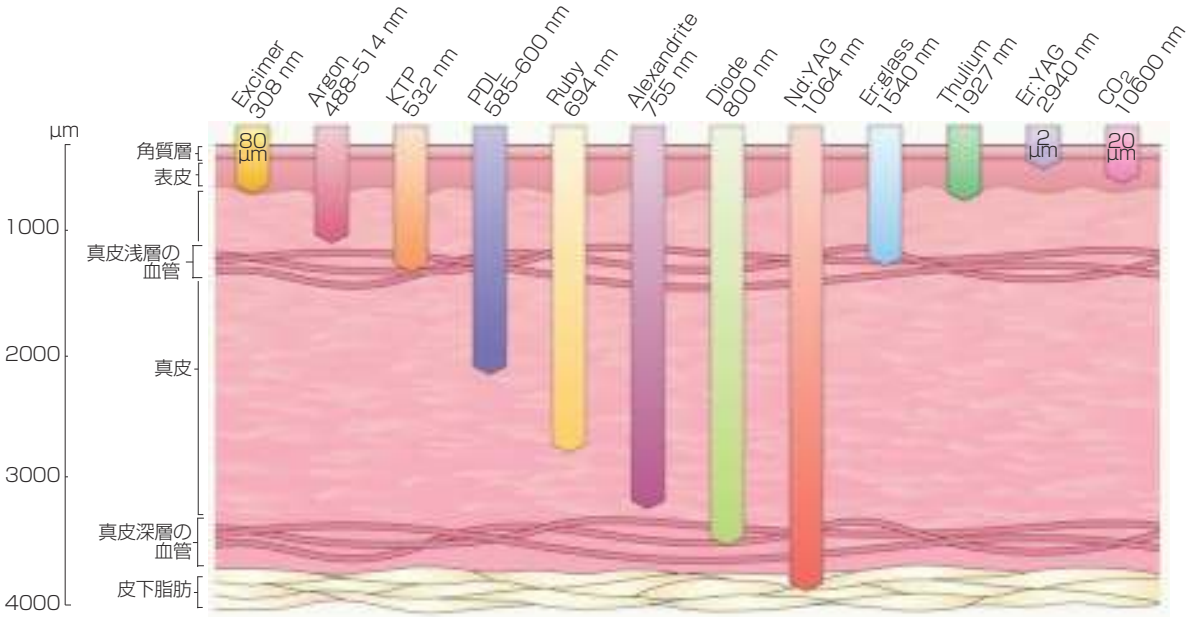

図2　レーザは真皮の奥まで到達できる。1470nmレーザは400μm付近までだが、1550nmレーザは1600μmまで到達する。

1060nm以下の波長の光は皮下脂肪層や真皮深層まで到達するが、メラニンやヘモグロビンに強く吸光される。そのため、肌の若返りには向いていない。755～1060nmの光は脱毛に利用できる。

1470nmダイオードレーザ

ダイオードレーザは、電気エネルギーを直接光に変換するモノシリック半導体デバイスであり、肌を若返らせる他のレーザ源と比較して、変換効率、サイズ、コストなど多くの利点がある。これらの利点により、ダイオードレーザによる肌の若返り機器は自宅で使用できるように設計されている。ここでは、肌の若返りとして家庭用の1470nmダイオードレーザの基本的な原理について説明する。

レーザによる肌の若返りは、組織内の吸光分子が異なる波長を選択的に吸光するという選択的光熱融解理論に基づいている[2]。ヒト組織内の一般的な吸光分子は、水、ヘモグロビン、メラニンである。この中でも水は組織の70%を占めており、肌の若返り治療において主要な吸光分子である。

1470nmレーザは、他の波長と比較して、水に対して適切な吸光係数があり、真皮の深さ約400μmまで到達できる。1400nm以上の波長のレーザは、目の角膜やレンズに強く吸光されるため、エネルギーが網膜に届かないことが多い。最大許容露光量（MPE）の点では、1400nmの光源は安全と考えられている。1470nmのMPEは、1400nmのMPEの100万分の1である（**図3**）。

フラクショナル方式を採用した治療では、小さな3次元熱傷が生じる。これは微細治療ゾーンまたはマイクロ熱ゾーン（MTZ）としても知られている。MTZの大きさは通常400μmを超えな

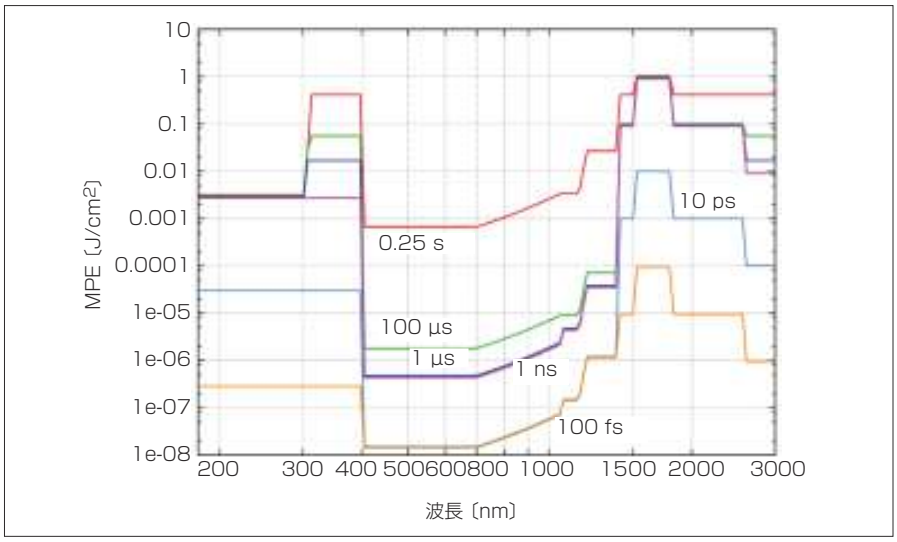

図3　さまざまな露光時間における、MPE（エネルギー密度の指標）と波長の関係。

図4　フォーカスライト社の家庭用非切除式1470nmフラクショナルレーザのデモシステム（200g、210×55×60mm³）と、発生するスポット。

いため、線維化や炎症は誘発されない。MTZが大きくなると、創傷治癒ではなく線維化が引き起こされる。MTZの大きさと深さは、レーザの波長と入力エネルギーに依存する。同じレーザなら、出力が高いほどMTZは大きくなり、より深く到達する。

自宅での治療

FP治療では、熱ダメージ領域はMTZのみである。周囲の組織は無傷のままで、細胞再生のためのリザーバとして機能する。迅速な修復プロセスを確実なものとするためには無傷な組織が必要であるため、MTZ密度をうまく制御しなければならない。しかし、満足のいく臨床結果を得るには、十分な累積密度が求められる。通常、表皮が24～48時間で再生するためには、MTZは治療部位の40%以上を占めてはならない。

治療後24時間以内に、表皮の壊死細胞はMTZ周囲の活性細胞に置き換わる。変性した壊死細胞は微細表皮壊死小片（MEND、これは壊死した表皮組織、真皮、メラニン、エラスチンを含む）として知られている。MENDは角質層を通って移動し、表皮から排出される。治療中は新しいコラーゲン組織とエラスチン組織も刺激される。

Er:glassレーザやNd:YAGレーザのような固体レーザは、サイズ、放熱、コストにおいて家庭用機器への搭載は難しい。自宅で使用するレーザ皮膚治療を可能にしたのはダイオードレーザの商業化である。1470nmのフラクショナルレーザ（複数のMTZを持つビームを皮膚に照射するレーザ）は、業務用システムと家庭用機器の両方で有用であることがわかっている。商品化された家庭用機器の中には、蘭フィリップス社（Philips）のRéAura、米トリア・ビューティ社（Tria Beauty）のTria Age Defying Laserなど、FDAに承認されたものもある。

家庭用機器は、業務用システムとは異なり、治療部位が小さく、MTZも少ない。業務用システムは数十ワットという高出力であるため、MTZ密度が高く、パルス幅が短いのが一般的である。MTZ/cm²は50、100、500cm²、ときには1000cm²にもなり、数セッションで結果が目に見えるほどである。家庭用機器は数ワットと低出力であり、MTZ/cm²は通常40を超えないため、より多くの頻度の治療が必要となる（週に3～4回、数週間継続）。

家庭用機器は放熱性能に限界があり、サイズも小さいため、ダイオードレーザの出力はシングルエミッタ、マルチエミッタ、バーに関係なく1～15Wに限られる。特殊な工学設計によって、100～200μmのシングルスポット、またはスポットライン、スポットアレイを発生できる。スポットのエネルギーは通常、スポットあたり15mJ未満、パルス幅は10～60msである。家庭用機器は空冷する必要があるので、放熱設計を工夫しなければならない。

業務用機器と同様に家庭向けバージ

図5　フォーカスライト社のデモ機による治療後（10ms、1mJ/spot）では、紅斑はあまり見られない。

図6　フォーカスライト社のデモ機による眼窩周囲のシワの治療（10ms、1mJ/spot）。治療は週に3回行い、5週間後にはシワが減少した。

ョンでは、治療モードとしてスタンプ式とロール式を採用できる。スタンプモードでは、MTZパターンが機器にプリセットされている。治療中は、治療領域全体をカバーするまで部位ごとにスタンプする。発光中とパルス幅のときは動かさない。スタンプモードは、高精度ですべての領域をカバーできるが、治療時間は長くなってしまう。

ロールモードでは、治療部位をカバーするために機器を連続的に動かす必要がある。発光中はデバイスを動かしているので、移動スピードやパルス幅によって、実際のスポットは想定スポットサイズよりも細長くなる。どちらの方法も、ユーザーの好みと機器のパラメータに基づいて推奨される。

家庭用デモ機の結果

中国フォーカスライト社（Focus light）の研究室では、1470nm、1.5Wのダイオードレーザを搭載した家庭用デモシステムが作られた（**図4**）。スポットサイズは100×100μmで、エネルギーはスポットあたり6～12mJである。デモシステムではアダプターが使われているが、市販用機器には通常バッテリーが搭載されている。

図7　フォーカスライト社のデモ機によるニキビ跡の治療（10ms、1mJ/spot）。治療は週に3～4回行い、5週間後にはニキビ跡が減少し、肌のきめも改善した。

デモ機で治療した結果、治療直後の皮膚の紅斑は少なくなった（**図5**）。専門家による治療とは異なり、現在の家庭用機器については、眼窩周囲のシワを治療することだけをFDAは示している（**図6**）。しかし、この機器は顔のニキビ跡を薄くする効果もあった（**図7**）。さらに深いシワや線状皮膚萎縮を治療するには、クリニックや病院にある専用システムが使われる。

家庭用美容機器の市場は近年大きく成長しており、肌の若返りを目的とした1470nmレーザの使用が増加している。自宅で簡単に使える機器への需要は消費者の中で高く、家庭用機器の市場は拡大し続けるだろう。高齢者の人口増加に伴い、皮膚のたるみを改善するためのシワ取りといったアンチエイジング製品の需要は高まり続け、市場をさらに刺激するだろう。

参考文献

(1) D. Manstein, G. S. Herron, R. K. Sink, H. Tanner, and R. R. Anderson, Lasers Surg. Med., 34, 5, 426-438 (2004).
(2) R. R Anderson and J. A. Parrish, Science, 220, 4596, 524?527 (Apr. 29, 1983); doi:10.1126/science.6836297.
(3) E. P. Tierney, D. J. Kouba, and C. W. Hanke, Dermatol. Surg., 35, 10, 1445-1461 (Oct. 2009); doi:10.1111/j.1524-4725.2009.01258.x.
(4) X. Leihong and Z. Zhanchao, Laser Treatment Theory and Technology for Dermatology, People's Medical Publishing House, 59-60 (2014).
(5) C. Albert, "Fractional vs. non-fractional laser," Congress handout, 6 (2017).
(6) X. Wenlin, Chinese J. Aesthetic Med., 1535 (2009).
(7) K. Nouri, Lasers in Dermatology and Medicine, Springer, 123?133 (2011).
(8) S. B. Kaushik and A. F. Alexis, J. Clin. Aesthetic Dermatol., 52 (2017).

著者紹介

オシア・ウーはフォーカスライト・テクノロジー社の製品マネージャー、ケビン・ヤンは同社の医療・美容製品ラインのディレクター。
https://www.focuslight.com

LFWJ