

レーザー／IPL 脱毛における効果と安全性の確保

Securing both efficacy and safety of laser/IPL hair removal

高橋知之¹，高橋貴志¹，伊藤史子²，松倉知之²（¹高橋医院，²松倉クリニック）

Tomoyuki Takahashi¹，Takashi Takahashi¹，Ayako Ito²，Tomoyuki Matsukura²

(¹Takahashi Clinic, ²Matsukura Clinic)

Abstract

An appropriate wavelength, pulse width and fluence are requirements for effective and safe laser/IPL hair removal. A cooling device that allows the machine to operate at higher fluences is also essential. Skin burns are still encountered, however, in spite of the use of a high-performance machine and of an acceptable test-shot result. Taking advantage of the opportunity to have two machines at our disposal, i.e., the LightSheer (diode laser) by Lumenis and the P-NAIN (IPL) by Jeisys, we have conducted an in vivo experiment to study temperature changes in human skin during laser irradiation. On the basis of the result of this experiment, we will discuss how to secure both efficacy and safety of laser and IPL hair removal, focusing on the clinical effect of the P-NAIN.

キーワード：レーザー脱毛，IPL 脱毛，LightSheer，P-NAIN，冷却装置

1. はじめに

1983年にAndersonら¹⁾によって提唱されたselective photothermolysisの方法論以来様々な機械が発表され、改良が重ねられてきた。そしていまや熱傷防止のための皮膚冷却装置を搭載した機械を適切な設定で使用すれば、レーザーであってもIPLであっても永久脱毛は実現できるようになったといえる。

しかし、事前に入念なテスト照射を行って、熱傷を起さないことを確認しても本照射後に熱傷を見る例が稀に認められる。

そこで今回我々は、Lumenis社のダイオードレーザー LightSheer と Jeisys 社の IPL 機

P-NAIN を用いて、実際に生体ヒト皮膚内でどのような温度変化が起きているのかを測定し、冷却装置について検証を行った。

考察を交えてここに報告する。

2. 永久脱毛できる光線の条件

安全で効果的な永久脱毛は、機械の性能に負うところが大きい。たとえ施術者が熟練していたとしても、不適切な設定で行うと熱傷を生ずるのは自明の理である。

人体に限らずレーザー光線を用いて何かを行う際にはどの波長のレーザーを使うか、どれくらいの時間照射するのか、どれくらいの出力で照射するのか、この三つを決定する必要がある。

2.1. 波長

図1にあるような波長領域の光は、一般的に

連絡先：高橋知之，高橋医院
〒150-0041 東京都渋谷区神南 1-12-16
takahashi@clinic.ac

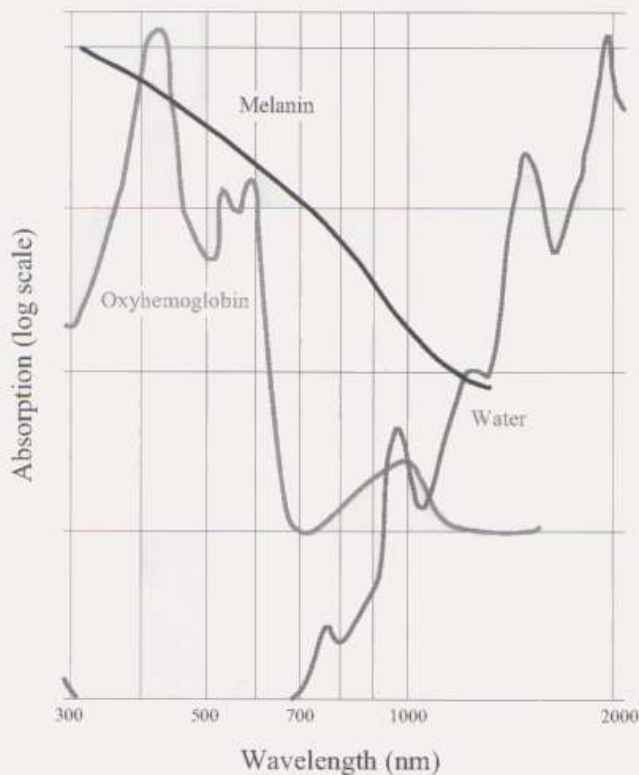


図1 異なる発色団における波長と吸収率の関係

波長が長くなるほど皮膚深達度が増すが、メラニンに対する吸光効率は低下し、また水分への吸光も増加する。逆に波長が短くなればメラニンへの吸光度は増加するが皮膚深達度が減じ、また酸化ヘモグロビンへの吸光が無視できなくなる。

したがって最も脱毛に適した波長は700 nm～800 nmと考えられる。脱毛目的ではアレキサンドライトレーザーやダイオードレーザーが多く用いられているが前者は700 nm、後者は800 nmであり理想的といえる。IPLの場合は機種によって波長は様々であるが、今回使用したP-NAINは700 nm～950 nmである。

2.2. パルス幅

パルス幅とは光線一発の持続時間のことを指し、通常はミリ秒 (ms) という単位が用いられる。

毛根が受けるエネルギーはレーザー光線の強さと照射時間をかけたものであるため、一定の強さのレーザー光線を2秒受ければ1秒受けたとき

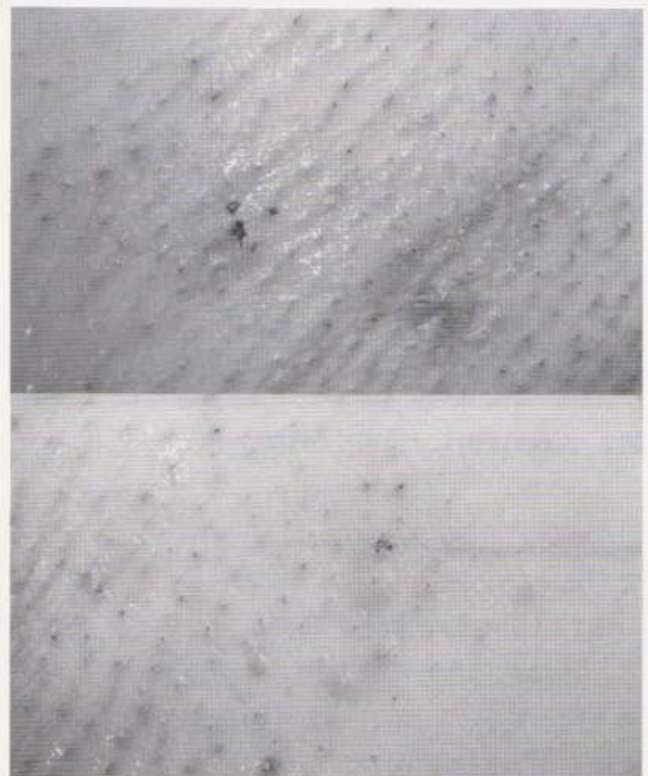


図2 30msと300msのパルス幅による反応の違い

の2倍のエネルギーとなるわけである。しかしながら、長ければよいというものではなく、むしろ長く照射し続ければ回りの皮膚にも熱傷が及ぶこととなる。

脱毛に適したパルス幅は10～50 msくらいが至適であるといえる。

図2上の写真はパルス幅30 msに設定したLightSheerにて20 J/cm²でテスト照射した直後の写真、下の写真はPalomar社のダイオードレーザーであるSPL1000でパルス幅を300 msで同じく20 J/cm²でテスト照射した直後の写真である。上では毛孔に一致して毛が一部蒸散した所見が認められ適切に脱毛できている。しかし下では毛孔一致性に直径2～3 mmまでの大きな膨隆疹を形成している。

2.3. 出力

光線の波長は機種によって決まっているし、パルス幅も症例ごとに頻りに設定を変えるものではないので、施術者が判断する唯一のパラメーター

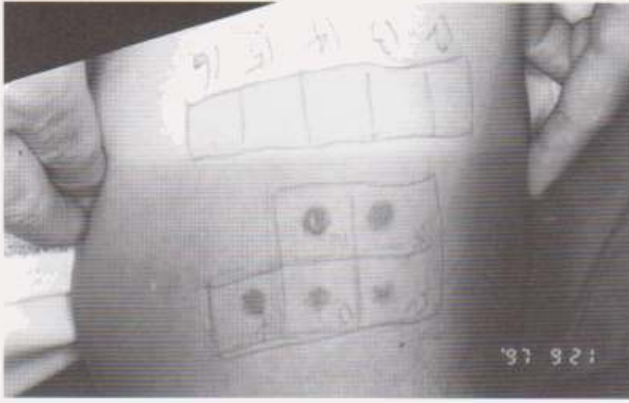


図3 Super LPIR により生じた熱傷

であるといえる。

出力は当然弱すぎると効果は出ないし、強すぎると熱傷を起こし得る。我々の施設では入念なテスト照射を行い、毛孔一致性の紅斑の見られる最も低い出力で本照射を行っている。

3. 皮膚冷却装置の重要性

図3は左大腿部の日焼けをしている部分としていない部分に Cynosure 社の Super LPIR というアレキサンドライトレーザー^②にて照射を行った写真である。日焼けをしている部分は 12 J/cm^2

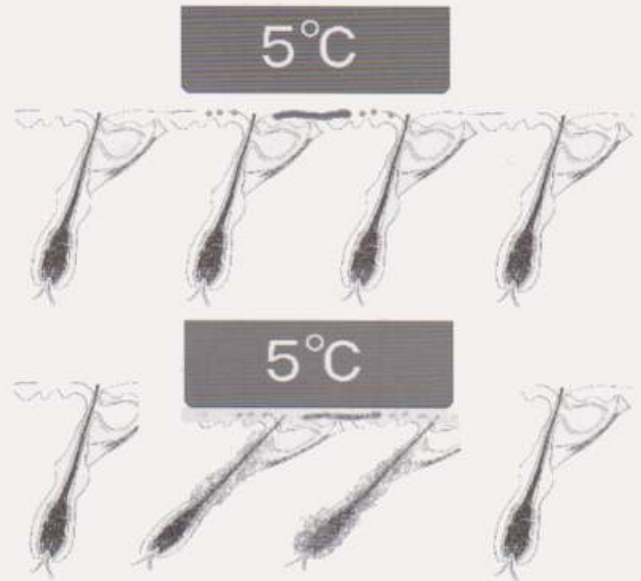


図5 接触クーリング装置

でも熱傷が認められる。

一方で図4はアフガニスタン出身の患者で、平均的日本人と比べると皮膚の色はかなり黒いといえるが、冷却装置のついた Lumenis 社のダイオードレーザー LightSheer^③で $15 \sim 18 \text{ J/cm}^2$ にて4回照射、右写真は4回終了後6ヵ月目のものである。



図4 色が黒い患者における著効例



図6 LightSheer により生じた熱傷

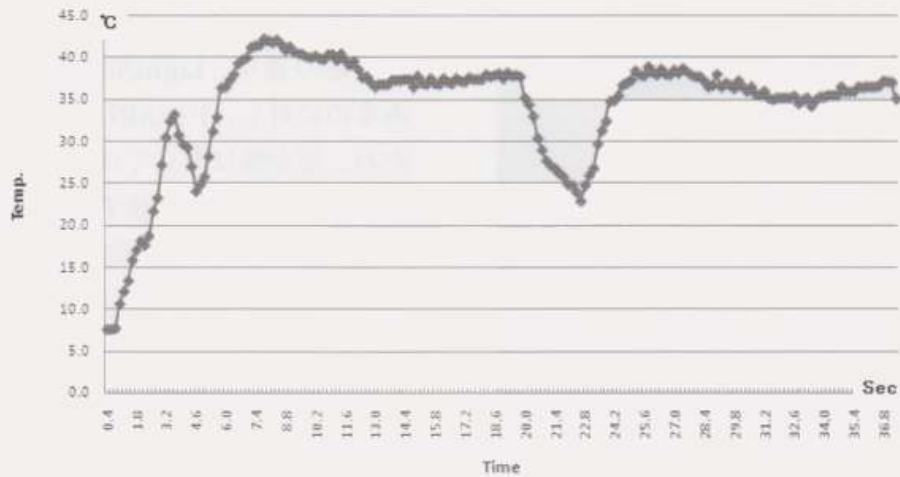


図7 LightSheerで施術中の皮膚表面温度

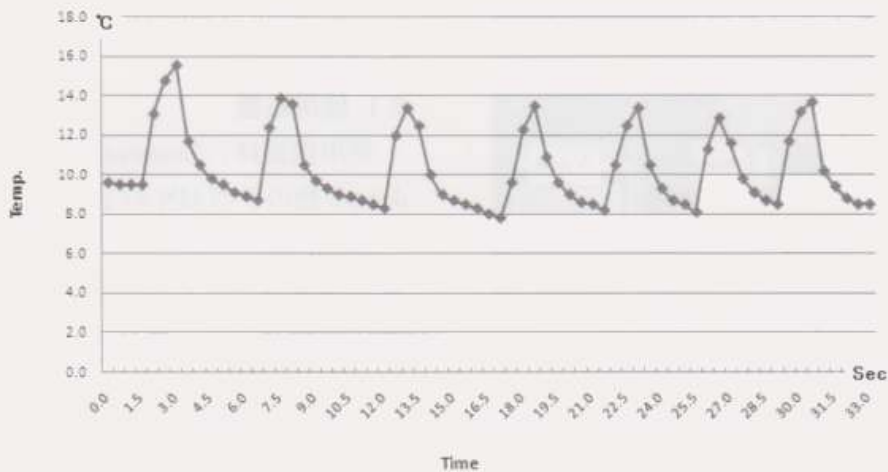


図8 P-NAINで施術中の皮膚表面温度

この2機種が決定的な違いは冷却装置にあるといえる。

図5にあるように、接触式の冷却装置はいわば氷を皮膚に押し当て、メラニンの集中する厚さ0.1～0.2mmの表皮を強力に冷しているようなものである。

4. 照射時の皮膚表面温度

図6は入念にテスト照射を行い、慎重に出力を決定し本照射を行ったにもかかわらず生じた熱傷例である。熱傷を生じた機序を検証するため、我々は先端にリアルタイムで温度測定可能な温度

計を装備したワイヤー状のサーモセンサーを機械のハンドピース先端に留置し、照射中に皮膚表面がどのような温度変化を起しているのかを測定した。

LightSheerで30 J/cm²、2 Hzで照射を行ったところ、図7のグラフのような温度変化が出た。

つまり、テスト照射のときは数発しか照射しないため冷却装置が有効に働いていたが、高速で照射を繰り返すと冷却が追いつかなくなり徐々に皮膚表面温度が上昇していることが確認された。グラフ中央部分で温度が下がっているのは、まさに施術者が一列施術を終えて、次の列にハンドピー



図9 実験の方法

スを移動させている間の数秒で冷却効果が戻りつつあることを示している。

一方で、図8はJeisys社のP-NAINを用いて同様の実験を行った時のグラフである。30 J/cm²、0.5 Hzという比較的緩徐な照射頻度であるが、ハンドピースの面積が大きいいため、処理速度はLightSheerと同等であるといえる。LightSheerの先端温度が5度であるのに対し、P-NAINは-5度と約10度も低く、かつハンドピース先端に温度センサーが内蔵されており、リアルタイムで情報が本体にフィードバックされる仕組みになっている。高速照射を繰り返しハンドピース表面温度が設定した温度よりも高くなると、施術者がトリガーを引いても安全装置が働き射出されない仕組みになっているため、グラフのような安定した皮膚温が得られているのが分かる。

5. 皮内温度の検証実験

前述の通り、LightSheerの先端温度が3度であるのに対し、P-NAINは-5度と約10度も低いため、安全性に関しては先の実験で十分に確認できたが、逆に冷却が強すぎるために真皮まで冷てしまい十分に毛包が加温されず結果として脱毛効果に影響が出るのではないかと懸念がある。

そこで我々は先程のセンサーを生体ヒト皮膚内に留置し、実際に皮内でどのような温度変化が起きるのかを検証することにした。

被験者は55歳男性で、左大腿部にて実験を行った。

6. 方法

6.1. 使用装置

使用機器は、Lumenis社のLightSheerおよびJeisys社のP-NAINの2機種である。

LightSheerはハンドピースの先端温度が約5度に固定されているがP-NAINでは施術者が任意に可変できる。実験ではP-NAINの温度を-5度に設定した。

6.2. 照射方法

写真(図9)のように各機器のハンドピース接触部分を赤い正方形にマーキングを行い、その中に三つ点をプロットし、三つの点の直下にそれぞれ皮膚表面より1 mm, 2 mm, 3 mmの深さにサーモセンサーを埋めこみ固定した。なお、適切な深さに挿入されたことを確認するため、留置後三つの点にそれぞれ28ゲージ針を刺入し、センサー部分の深さを厳密に確認した。またハンドピースと皮膚の間にもサーモセンサーを留置し、皮膚表面の温度も同時に記録することとした。

このような準備の上、ハンドピースを赤い正方形に接触させて2秒後にいずれも30 J/cm²で照射を行った。

6.3. 評価

照射前後の模様をサーモセンサーとあわせてビデオ撮影し、各時間列ごとの温度変化を各層ごと



図 10 LightSheer 発振中の皮膚温度

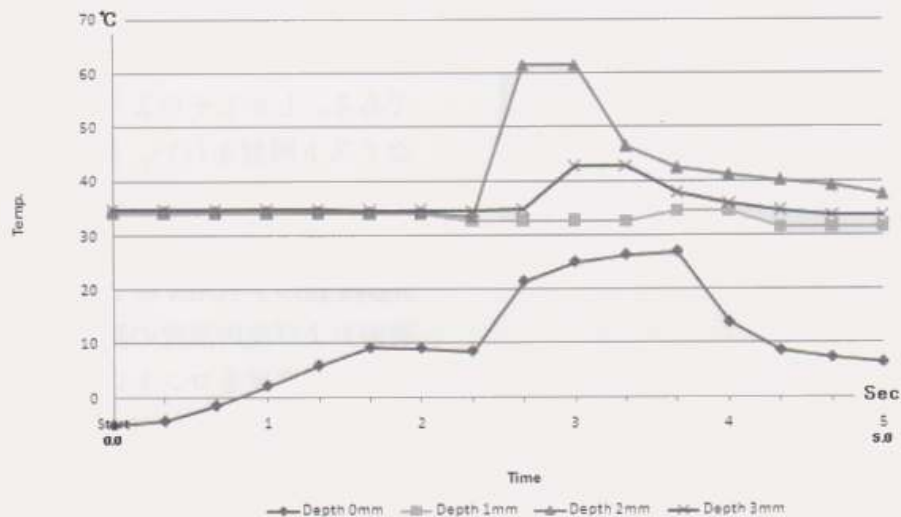


図 11 P-NAIN 発振中の皮膚温度

にプロットしグラフ化した。

7. 結果

7.1. LightSheer

図 10 は LightSheer 照射時の温度変化である。皮膚表面の温度はハンドピースを皮膚に接触させた直後は 10 度前後を保っているが、徐々に温度が上がり始め、照射直前の 2 秒後には約 30 度にまで達した。

他の 1 mm, 2 mm, 3 mm の深さではほぼ 36 度を保っているのが認められる。

照射時はいずれの層も急激な温度上昇を示し、

殊に 3 mm では約 110 度にまで上昇した。照射時の皮膚表面温度は約 40 度であった。

7.2. P-NAIN

図 11 は P-NAIN 照射時の温度変化である。

皮膚表面の温度はハンドピースを皮膚に接触させて照射するまでの 2 秒の間、ずっと 10 度以下を保っていた。

こちらも他の 1 mm, 2 mm, 3 mm の深さではほぼ 36 度を保っているのが認められる。

照射時は 1 mm, 3 mm の深さでは殆ど温度上昇を認めず、2 mm の層で 60 度以上の上昇が認められた。なお、皮膚表面温度は照射時も約 30



図 12 P-NAIN による治療の著効例

度以下を保っていた。

8. 実験のまとめ

P-NAIN は -5 度という強力な冷却を行うことができるが、そのような温度設定であっても皮下 1 mm 以下は 36 度前後を保っていた。つまり冷却温度を強くしても、毛包を冷しすぎて stem cell のタンパク質変性を妨げるというような弊害はないといえる。

照射時は 1 mm 、 3 mm の深さでは殆ど温度上昇を認めなかったのは、 1 mm では冷却装置の影響で温度が上昇しなかったと考えられ、 3 mm においては直進するレーザー光とは異なり、拡散するという IPL の性質から毛乳頭付近に影響を与えなかったといえる。

毛包の stem cell は皮膚表面から約 2 mm ほどの膨大部付近に存在するため、P-NAIN の脱毛は選択的に stem cell をタンパク質変性させている

といえよう。

9. P-NAIN を用いた臨床経過

図 12 は 23 歳女性で、P-NAIN による両わきの脱毛の例である。上は照射前の剃毛後の写真である。3 ヶ月間隔で 4 回照射を行ったところ、 5 回目施術のために来院した施術前の写真では明らかな減毛が確認できた。

10. 結語

確実に安全で効果的な永久脱毛を行うためには①適切な波長、②適切なパルス幅、③毛の太さに見合った高出力が求められ、そして高出力で施術するためには、④出力に見合った冷却装置が必要である。しかしそのような機械を用いてかつ慎重なテスト照射を行い、結果何ら問題がなくても、本照射で熱傷を生ずることもある。

今回我々は、Lumenis 社の LightSheer および Jeisys 社の P-NAIN の 2 機種を同時に用いて皮膚表面および皮内温度の測定を行ったが、その結果皮膚表面温度をコントロールすることによって熱傷は未然に防ぐことができることが分かった。結論として LightSheer は数発照射するごとに数秒の間小休止すれば問題なく施術を行える機械である。

P-NAIN は既に強力な冷却装置に加え、温度コントロールシステムが搭載されており、更にはターゲットを膨大部付近に限局することによって腫脹や痛みを最小限に留めることができる機械であるということが分かった。

参考文献

- 1) Anderson RR, Parrish JA. Selective photothermolysis: Precise surgery by selective absorption of pulsed radiation. Science 1983; 220: 524-527.
- 2) 高橋知之. 脱毛用レーザーの使用経験 (long pulse alexandrite laser). 日美外会誌. 1998; 35(2):63-64.