

低出力キセノンフラッシュによる肌質改善・毛成長抑制法

Skin Improvement and Hair Growth Suppression with Low-Power Xenon Flash

木下 雅登* · 山崎 雅子* · 永沼 香織* · 奥野 要** · 松崎 貴*** · 乃木田 俊辰****
Masato Kinoshita Masako Yamasaki Kaori Naganuma Kaname Okuno Takashi Matsuzaki Toshitatsu Nogita

光を用いた美容法において、波長 400 ~ 1200 nm, エネルギー密度 0.3 J/cm^2 の低出力キセノンフラッシュを機械的脱毛後に照射することで、毛の成長抑制と肌質改善の効果を確認した。この光をわきに照射することにより、わき毛を処置する時間間隔が約 2 倍に延びるとともに、皮膚のターンオーバーが加速されて全体の明度のばらつきが小さくなり肌の色調は明るくなる。また毛穴の凹凸形状は小さくなり、高さ $100 \mu\text{m}$ を越える凸形状が減少する。さらに組織学的検討の結果は、これらが毛根部の壊死性変化によるものではなく、毛包のアポトーシス誘導によって毛の成長が抑制されている可能性を示唆している。

For a cosmetic purpose, low-power xenon light of the 400~1200 nm wavelength and 0.3 J/cm^2 energy density are irradiated on the skin after mechanical depilation. The irradiation suppresses hair growth and improves skin color and texture. Irradiation of the xenon light on underarms extends the interval required for hair treatment approximately two-fold, makes the skin color lighter and less variance, and accelerates the skin turnover rate. It also reduces the protrusions around the pores of the skin, especially those over $100 \mu\text{m}$ in height. The histological examination suggests that these improvements are not caused by necrosis of the hair root, but by apoptosis induced in the hair follicle.

1. ま え が き

近年、レーザや高出力キセノンフラッシュランプの光を肌に照射することで、毛包周辺の細胞を熱により破壊し、永久脱毛を行う光脱毛が広く認められてきている。これら高エネルギー密度の光を照射する光脱毛においては、施術部位での障害防止のための十分な配慮が必要であり、適切な使用方法が伴わない場合には火傷等の問題が懸念される。そのため、施術には専門的な知識と機器取扱いの習熟が必要である。

筆者らは、医療やエステティックサロンで使用されている高出力キセノンフラッシュランプに比べ、きわめて低い出力のキセノンフラッシュランプを用いて肌質改善および毛成長の一時的な抑制効果（以下、抑毛と記す）が得られることを見だし、専門的知識がなくても安全に抑毛、肌質改善効果が実現できる方法として研究を行っている。

着目した点の一つに、毛周期による光反応性の違いがあ

る。毛の成長には周期があり、成長期、退行期、休止期といった三つのフェーズを繰り返すが、どのフェーズで光を照射するかによって反応が異なる。筆者らは、毛周期の異なる黒毛のマウスに対して同じ特性の光を照射する実験を行い、成長期初期に光照射した場合がもっとも顕著に作用が現れることを確認している。

その理由としては、成長期初期が毛母細胞の活発な増殖時期であることや、休止期に比べて皮膚下の浅い位置に毛根がある¹⁾ ために作用する光のエネルギーが多くなることなどが考えられる。

これらのことから、毛の成長期初期に光照射を行うことで、より小さいエネルギーで抑毛効果が得られるという仮説が立てられる。そこで、黒毛マウスに対してさまざまなエネルギー密度での照射実験を行い、波長 400 ~ 1200 nm, エネルギー密度 0.3 J/cm^2 のキセノンフラッシュ照射により、肌質改善および抑毛効果と安全性が両立できることを確認した。

* 新規商品創出技術開発部 New Product Technologies Development Department

** 電器事業本部 電器R & Dセンター Research & Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

*** 島根大学 生物資源科学部 Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

**** 新宿南口皮膚科 Shinjuku Minamiguchi Hifuka

またヒトの場合においても、機械的脱毛後にこの光を照射することで、抑毛と肌質改善効果を確認できたので報告する。

本稿では、まず従来の光脱毛との作用機序の違いについて述べた後、人によるモニタ試験でその効果および安全性を検証した結果を示す。

2. 作用機序

2.1 従来方式

従来の光脱毛は、1983年にハーバード大学皮膚科のロックス・アンダーソン氏が提唱した選択的光熱破壊理論に基づいている。この理論は、光の波長や照射時間などを破壊したい組織に合わせて適切に設定することで、周辺の組織への損傷を抑えながら目標となる組織を熱破壊できるというものである²⁾。

光脱毛の場合は、毛に含まれるメラニンに光を吸収させることで、毛包およびバルジ領域に存在する毛の幹細胞などを破壊し、脱毛の永久性を達成している。図1にマウスに医療用レーザー脱毛器の光を照射した後の毛包組織の状態を示す。図中の円で囲った部分などに、組織が破壊されてメラニンの漏出が起きている。

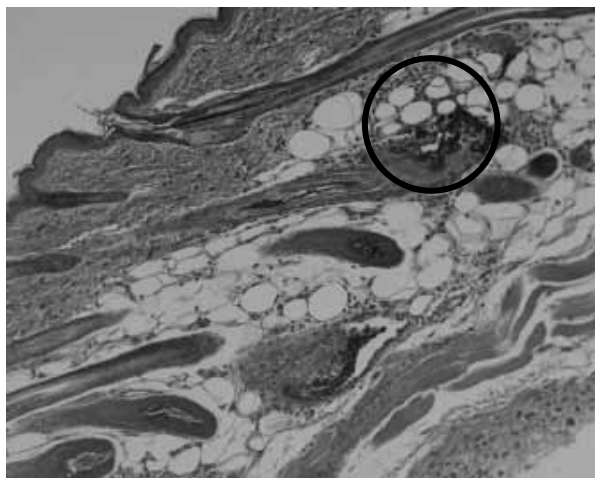


図1 破壊された毛包組織

2.2 従来方式の問題点

現在、光脱毛に使用されている機器には以下のような方式がある。

- (1) レーザ方式：波長 750 nm 前後，照射エネルギー密度 $10 \sim 20 \text{ J/cm}^2$
- (2) キセノンフラッシュ方式：波長 560 ~ 1200 nm，照射エネルギー密度 $20 \sim 40 \text{ J/cm}^2$

機器によって波長や照射エネルギー密度は異なるが、一般的に毛包を熱破壊するには数十 J/cm^2 の照射エネルギー密度を必要とする。しかし、このような熱破壊方式の場合、過剰なエネルギーを与えると火傷等を引き起こす可

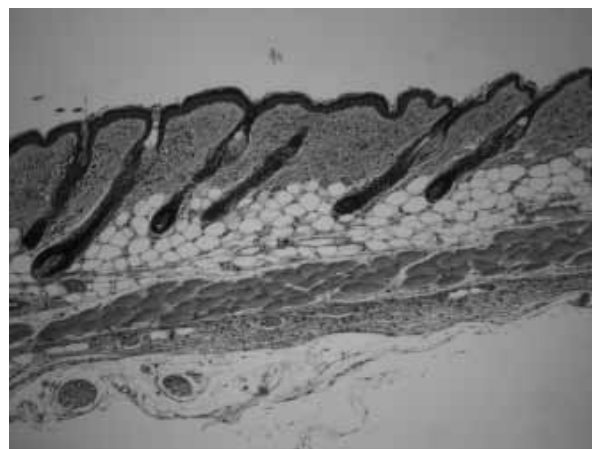
能性がある。これを避けるために光脱毛機器は皮膚表面を冷却する機構を備えているが、皮膚の光反応性には個人差があることから、火傷を起こさず脱毛効果の得られる適切な照射エネルギー密度を設定するには、施術者に専門的な知識と経験が必要である。

したがって、これらは専門的知識のない一般ユーザが容易に使用できるものではない。

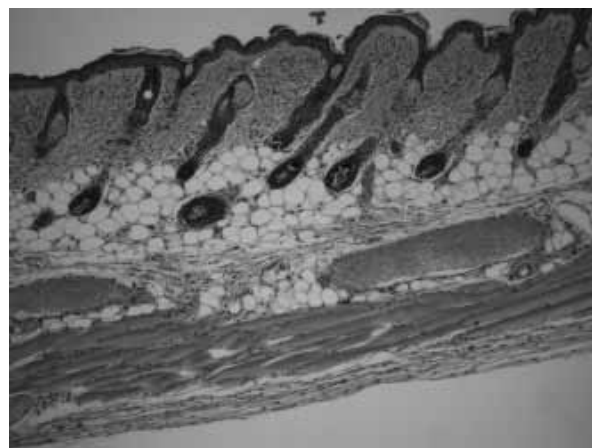
2.3 低出力キセノンフラッシュ方式による抑毛

筆者らが提案する低出力キセノンフラッシュ方式による抑毛法の作用機序は、組織学的検討で毛包を破壊することのないアポトーシスの誘導であり、結果として抑毛効果があることを確認している。アポトーシスとは細胞が自ら死んでいく現象であり、体内で通常起きている。熱による組織破壊の場合は体内で炎症反応が起きるが、アポトーシスの場合は炎症がなく生体にとって安全であり、また、一時的な変化であるため次に作られる細胞は正常に成長していく。このような可逆的変化をもたらす方式しか一般家庭用には利用できない。

図2および図3に、マウスに対してこの光を照射し、10時間後にHE染色で観察した皮膚組織形態、およびアポトーシス確認のためのssDNA免疫染色の結果を示す。

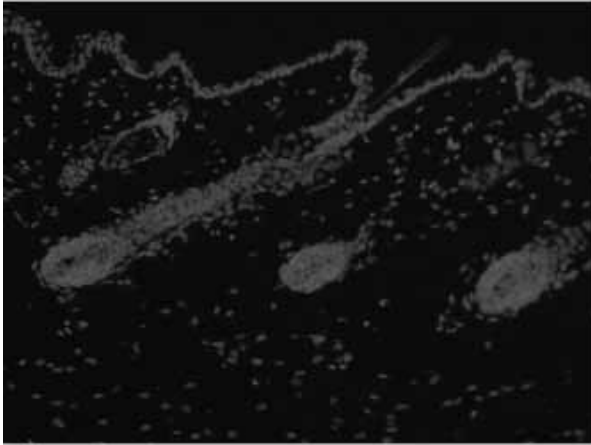


(a) コントロール側

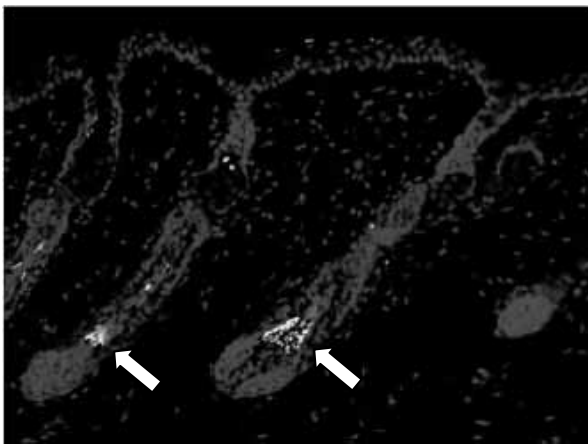


(b) 照射側

図2 皮膚組織形態(10時間後)



(a) コントロール側



(b) 照射側

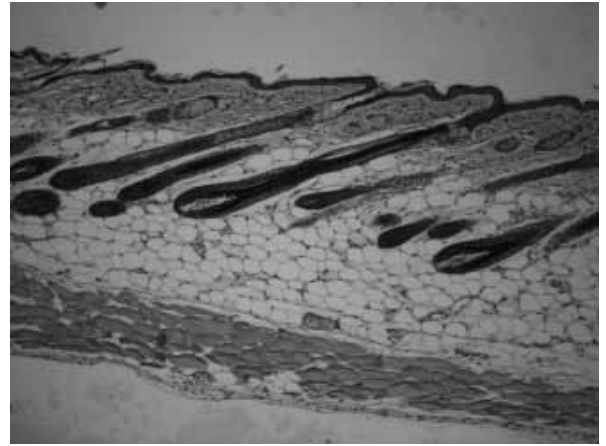
図3 ssDNA免疫染色結果(10時間後)

図2に示す皮膚組織形態では、光脱毛のような細胞の破壊はなく、コントロール側とも大きな差はない。また図3中の矢印で示すように、照射側のみ毛球部上部にssDNA陽性反応が現れており、アポトーシスを起こしていることが確認できる。

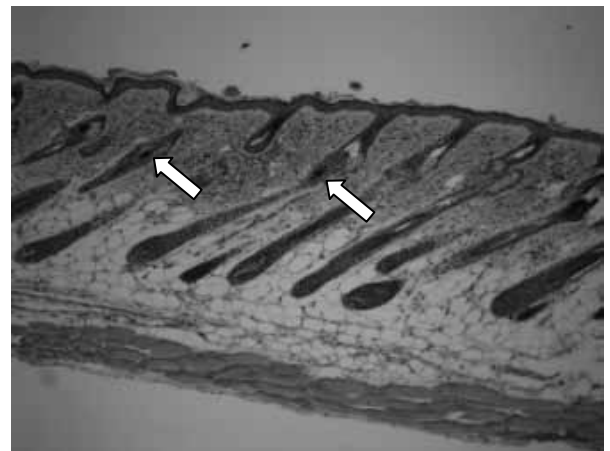
図4に低出力キセノンフラッシュ照射終了後72時間経過した皮膚組織形態を示す。

コントロール側では通常どおり毛が成長しているのに対し、照射側では図中の矢印で示すようにメラニンが毛球部から上方へ移動しており、アポトーシスを起こした細胞を排出している可能性を示唆している。また、照射側の毛包は全体的にコントロール側に比べ小さいことから、通常より毛の成長が遅れていることがわかる。

以上のことから、低出力キセノンフラッシュ方式では光脱毛のような細胞の破壊は伴わず、アポトーシスを誘導することにより成長抑制作用が得られているものと考えられる。なお、次回の毛周期からは正常となることから、この効果は可逆的反応であり一時的効果であることを確認している。



(a) コントロール側



(b) 照射側

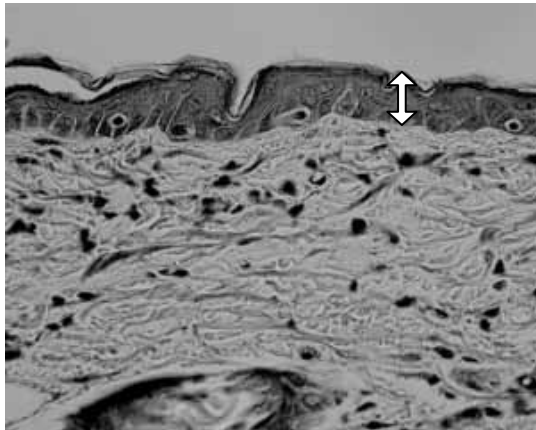
図4 皮膚組織形態(72時間後)

2.4 低出力キセノンフラッシュ方式による肌質改善

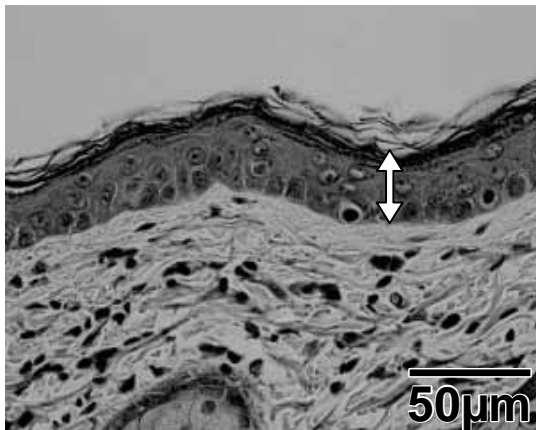
光照射により皮膚の再生であるターンオーバーが加速され、肌の色調やしわ・しみの改善効果等が得られることが医療分野で報告されている。しかし、反応機序の仮説としては光化学反応論や光熱変換による熱反応論などがあるが、皮膚の光を吸収する成分は基礎医学分野でも解明できておらず、その研究が行われている。低出力キセノンフラッシュ方式でも皮膚のターンオーバーの加速が確認できている。図5に、マウスに対して低出力キセノンフラッシュ照射終了後72時間経過した皮膚組織形態を示す。

図中の双方向矢印で示すように、光照射側はコントロール側に比べて表皮の肥厚化がみられる。このことから、ターンオーバーの加速が起こっていることがわかる。なお、この肥厚化は一時的なものであることを確認している。

以上のことから、安全性の高い低エネルギー密度のキセノンフラッシュ照射で毛包の破壊を伴わない一時的な抑毛効果が得られ、かつ肌質についても改善される可能性が確認できる。



(a) コントロール側



(b) 照射側

図5 肥厚化例 (照射72時間後)

3. 低出力キセノンフラッシュ方式の効果検証

低出力キセノンフラッシュ方式の効果および安全性を確認するため、人によるモニタ試験を実施し、結果を以下に示す。なお、効果および安全性の評価は専門家が行う必要があるため、皮膚科医師4名の協力を得ている。モニタ試験実施のための倫理委員会は、協力を得た各病院で実施されている。また、眼の安全性について、眼科医師3名の協力を得ている。

3.1 抑毛効果

20～50歳代の女性を被験者として、わきの機械的脱毛または剃毛後に低出力キセノンフラッシュを右わきにのみ1日1回、10日間連続で照射し、その後は放置する。毛が生えたら再度脱毛または剃毛後に前述のサイクルを6ヶ月間繰り返す。一方、左わきは脱毛または剃毛のみのコントロールとし、照射側とは別に毛が生えたら再度脱毛または剃毛処理のみ行う。

照射側、コントロール側それぞれ処理を行った日を記録し、半年間の平均処理間隔日数を比較することで光照射によるわき毛の処理間隔延長効果を評価する。

試験に使用した低出力キセノンフラッシュ光源の仕様は

以下のとおりである。

- (1) 照射光源：キセノンフラッシュランプ（波長：400～1200 nm）
- (2) 照射エネルギー密度：0.3 J/cm²
- (3) 照射面積：1×3 cm（約20回で片わき全体に照射）

照射側のわき毛処理間隔がコントロール側の何倍になったかを処理間隔延長効果とし、機械的脱毛および剃毛後照射それぞれ18名で評価してその人数分布を比較した結果を図6に示す。

この結果から、機械的脱毛後照射したグループのほうが処理間隔延長効果の発現率が78%（14名）と高く、剃毛後照射のグループは39%（7名）の発現率であり、機械的脱毛後に光照射を行うことが抑毛効果発現に有効であることがわかる。

また、処理間隔延長効果の大きさには個人差があるが、機械的脱毛後照射した場合、約2倍（照射側：15日、コントロール側：9日）となることが確認できる。

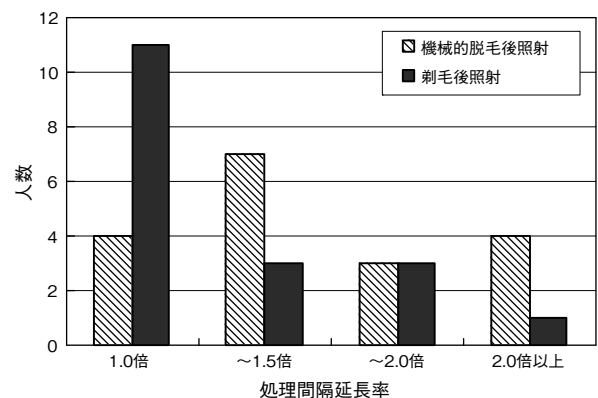


図6 処理間隔延長効果

3.2 肌の色調改善効果

20～50歳代の女性を被験者として、わき毛の機械的脱毛後、低出力キセノンフラッシュを1日1回、10日間連続で照射し、その後は20日間放置と脱毛後10日間照射のサイクルを6ヶ月間繰り返す。使用する光源の仕様は前節と同じである。

肌の色調の測定および評価は、Lab表色系で明るさの指標であるL値を用いて以下の要領で行う。

- (1) 測定機器：測色計（コニカミノルタ製、CM-2600d）を使用する。
- (2) 測定箇所：φ8 mmの測定範囲をわきの中心付近縦7×横5 cmの領域内で1 cmずつ移動させて35箇所測定する。
- (3) 評価方法：35箇所の測定データから最大値、最小値、平均値を求め、9名の施術開始前から6ヶ月目までの変化を比較し、肌の色調推移を評価する。

評価結果を図7に示す。L値の最大値はほとんど変化せず、最小値は2ヶ月目まで上昇傾向を示し、その後はあまり変化しない。このことから、低出力キセノンフラッシュ方式による肌の色調改善効果は、肌を白く脱色するような変化ではなく、本来の肌の色に近づける傾向があることを示している。

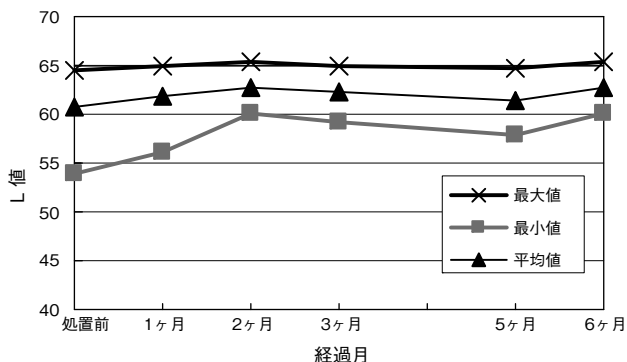


図7 色調改善結果

また、最小値について、9名の標準偏差も加えて評価した結果を図8に示す。

標準偏差は徐々に減少しており、このことから、わき全体の色調が本来の肌の色に近づく傾向であると考えられる。

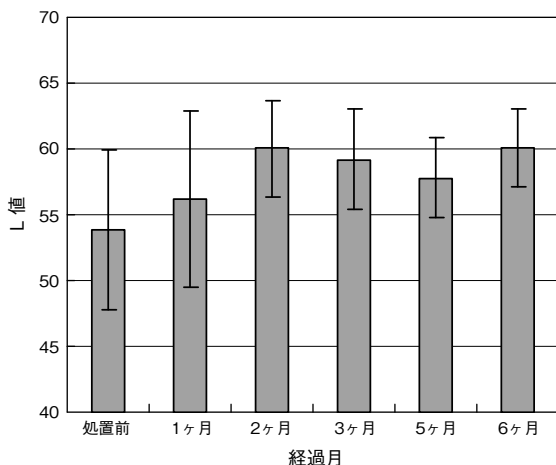


図8 色調改善結果 (最小値)

3.3 毛穴の凹凸改善効果

モニタ試験方法および光源の仕様は前節に示した条件と同じである。毛穴の凹凸の測定および評価は以下の要領で行う。

- (1) 測定機器：位相シフト法を用いた非接触3次元計測器（当社製、空間分解能約 $50\mu\text{m}$ ）を使用する。
- (2) 測定箇所：測定範囲 $2\times 2\text{cm}$ で、わきの中央付近において測定する。
- (3) 評価方法：JISB0601で定められている粗さの指標である、十点平均粗さを評価指標とする。凹凸が大きく、

その数が多いほどこの値が大きくなる。参考として、上腕内側など、比較的毛穴が目立たない部位では $100\mu\text{m}$ 前後の値となる。 $2\times 2\text{cm}$ の領域内で十点平均粗さを算出し、8名の平均値および標準偏差について施術開始前から6ヶ月目までの変化を比較する。

評価結果を図9に示す。

十点平均粗さの値は平均値、標準偏差ともに減少傾向が確認でき、毛穴の凹凸は光照射により減少しているといえる（2ヶ月目時点で、水準1%で有意差あり）。

また標準偏差も減少しているが、これは施術前から凹凸が大きい人ほど改善傾向が高く、凹凸が小さい良好な肌状態の人はあまり変化がないためと考えられる。

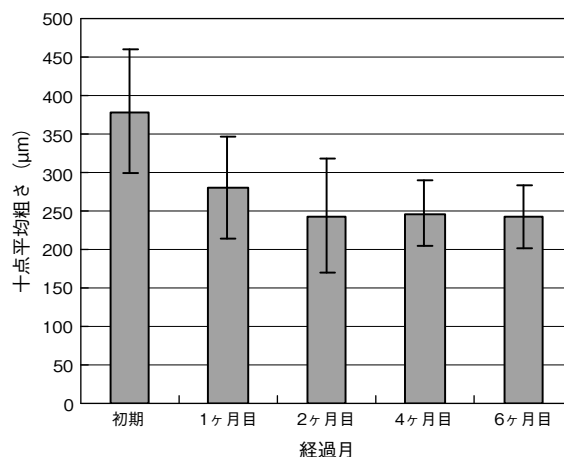


図9 毛穴の凹凸改善結果

4. 低出力キセノンフラッシュ方式の安全性検証

ヒトでの安全性を確認するため、20～50歳代の女性130名（前章で示した効果検証のためのモニタを含む）について、モニタ試験を実施する。照射部位は片わきとし、試験期間はわきの皮膚のターンオーバーが約4週間であることを考慮し、長期使用時の肌ダメージの蓄積についても確認できるように6ヶ月間とする。ただし、照射開始前および照射開始から2ヶ月ごとに皮膚科医師による診察を行い、光照射が原因と考えられる熱感、発赤、色素沈着、疼痛、かゆみ等の有害事象が発生した場合はモニタ試験を中止する。

その結果、これらの有害事象の発生はないことが確認できている。

5. あとがき

光を用いた美容法において、波長 $400\sim 1200\text{nm}$ 、エネルギー密度 $0.3\text{J}/\text{cm}^2$ の低出力キセノンフラッシュを機械的脱毛後に照射することで、毛の成長抑制と肌質改善の効果を確認した。この光をわきに照射することにより、わき毛を処置する時間間隔が約2倍に延びるとともに皮膚の

ターンオーバーが一時的に加速されて肌全体の色調は明るくなった。また毛穴の凹凸形状は小さくなり、高さ 100 μm を越える凸形状が減少した。さらに組織学的検討の結果は、これらは毛根部の熱破壊によるものではなく、毛包のアポトーシス誘導によって毛の成長が抑制されている可能性が示唆された。

この方法は安全性も高く、新たな美容法としての展開が期待できる。

最後に、本研究開発に際し、皮膚の効果・安全性検証に関して多大な助言をいただいた関西医科大学 医学部 岡本 祐之 教授、かわしま皮膚科 川島 淳子 医師、国家公務員共済組合連合会立川病院 稲積 豊子 医師、松下記念病院 森島 陽一 医師に感謝の意を表します。

また、眼の安全性に関して多大な助言をいただいた関西医科大学 医学部 木本 高志 医師、名古屋大学 医学部 近藤 峰生 准教授、松下記念病院 岡見 豊一 医師に感謝の意を表します。

*参考文献

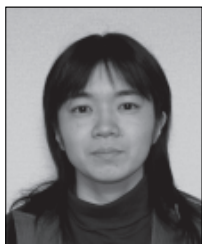
- 1) 松崎 貴, 新井 幸三, 上甲 恭平, 細川 稔, 中村 浩一: 最新の毛髪科学, フレグランスジャーナル社 (2003)
- 2) Anderson R. R. : Selective photothermolysis-Precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation, Science, p. 524-527 (1983)

◆執筆者紹介



木下 雅登

新規商品創出技術開発部



山崎 雅子

新規商品創出技術開発部



永沼 香織

新規商品創出技術開発部



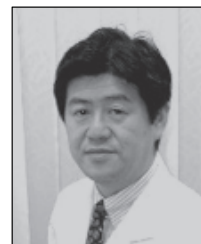
奥野 要

電器 R & D センター
第一級陸上無線技術士



松崎 貴

高根大学 生物資源科学部
博士 (理学)



乃木田 俊辰

新宿南口皮膚科
博士 (医学)