

鈴木 薫
K. Suzuki

山内 茂哉
S. Yamauchi

本田 哲也
T. Honda

扁平母斑(はん), 老人性色素斑などの浅在性色素異常症に対するルビーレーザーによる治療は, 高い確率で色素が消褪(たい)すること, 皮膚移植や冷凍療法に比較し癬痕(はんこん)化などの副作用が少ないことなどから, 皮膚科や美容外科クリニックにおいて一般的な治療手段となりつつある。

太田母斑, 青色母斑に代表される深在性色素異常症に対しては, 現在まで決定的な治療手段がなかった。今回, 深在性色素異常症治療を目的として, Qスイッチ技術を取り入れたルビーレーザー装置を開発した。太田母斑を対象とした帝京大学での臨床評価では, 癬痕化などの副作用もなく, 治療回数5回以上の症例においては臨床効果が100%著効であった。ここでは, その特長と帝京大学での臨床評価結果を紹介する。

Ruby Laser treatment for shallow pigmented lesion such as nevus spilus or senile pigment fleck is becoming popular in the fields of dermatology and aesthetic surgery, both because of its high efficacy and because of the low hypertrophic or artophic scarring caused compared to transplantation or cryotherapy.

Up to now, no highly efficacious treatment has been available for deep pigmentary anomalies such as Ota's nevus or blue nevus. To meet the resulting demand for a system incorporating Q-switched technology, a new therapeutic ruby laser equipment has been developed. At the Department of Dermatology of the Teikyo University School of Medicine, excellent responses were achieved in 100% of patients who received five or more treatments, with the new system, while no hypertrophic or artophic scarring was found in any of the patients.

This paper discusses the features of the Q-switched ruby laser system and its clinical efficacy.

1 まえがき

従来は色素異常皮膚疾患の治療法として液体窒素を用いた冷凍療法, 疾患部位と類似している正常な皮膚の移植が代表的な治療法として実施されてきた。しかし, 色素は消褪するものの癬痕や手術創が残るなどの副作用の問題があった。

1985年ころからレーザーによる治療が臨床的に試行されるようになった。当社も1988年から治療用ルビーレーザー装置を市場に投入している¹⁾。これは, 癬痕化を起こさない程度のエネルギーのレーザーを治療部位に照射し, 色素であるメラニンとその周囲にある色素産生細胞を焼灼する治療方法である。高い確率で色素が消褪することが学会でも確認されている²⁾。

従来のルビーレーザー装置のレーザーエネルギー密度は20~40J/cm²であり, 照射時間は約1msである。したがって, レーザーピークパワー密度としては約40kW/cm²である。皮膚の浅い部分の色素異常症治療にはエネルギー密度が大きい効果的であるが, 約2mmの深さに存在する太田母斑, 青色母斑など皮膚の深い部分に発生するあざに対しては, 効果が低い。レーザーのエネルギーは皮膚への侵入に

よって急激に拡散減衰するため, 皮膚深部に到達させるためには, 数十MW/cm²以上のパワー密度が必要だからである。しかし, 従来と同様の照射時間でパワー密度を上げると, それに比例してエネルギー密度も増加するため, 皮膚の正常組織に熱的なダメージを与え癬痕化を起こす。

上述の深在性の色素異常症の治療用として, レーザー発振制御においてQスイッチ技術を採用し, ピークパワー密度を200MW/cm²以上と従来装置の5,000倍以上に引き上げ, 照射時間を約30nsと短くしたルビーレーザー装置LRT-301A/QSを開発した(図1)。エネルギー密度としては4~7J/cm²であり, 癬痕化などの副作用を起こす可能性はきわめて低い。

2 従来型治療用ルビーレーザー装置の特徴

2.1 治療原理

ルビーレーザーの発振波長は694nmであり, メラニンでの吸収が大きく, コラーゲン, ヘモグロビンでの吸収が小さい(図2)。つまり, ルビーレーザーは正常組織に対しては影響を与えにくい, 治療対象であるメラニンにはその吸収特性に



図1. Qスイッチ型治療用ルビーレーザー装置 LRT-301A/QS ピークパワー密度 $200\text{MW}/\text{cm}^2$ 以上, 照射時間約 30ns でエネルギー密度は $4\sim 7\text{J}/\text{cm}^2$ と少ない。

External view of LRT-301A/QS Q-switched type ruby laser system

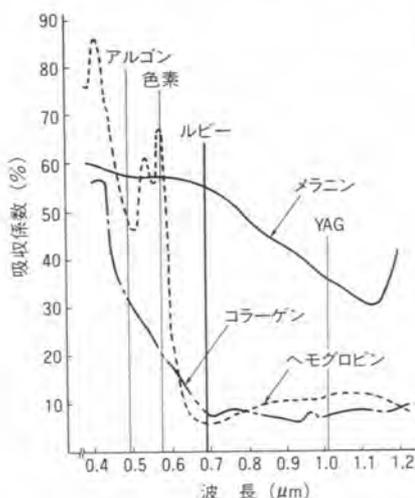


図2. 皮膚組織の波長に対する吸収特性 ルビーレーザーの波長 694nm はメラニンに吸収されやすく, コラーゲン, ヘモグロビンには吸収されにくい。

Light absorption characteristics of skin region

よって熱的なダメージを与える。

従来機種ではこの性質を利用し, メラニンにレーザーエネルギーを吸収させ, メラニンを加熱変性し, 周囲の色素産生細胞をも焼灼してしまう。この物理的治療は, 扁平母斑, 老人性色素斑などの浅在性の色素異常症には効果的である。

2.2 システム構成

ルビーレーザー装置は, ①レーザー発振の原動力となる光エネルギーを与えるための電源部, ②レーザーを発振させるヘッド部, ③発生したレーザー光を治療部位に導く導光路部から成る。

励起光ランプによって発せられた励起光が集光鏡によってルビーロッドに集光され, Cr原子が励起される。励起された電子が基底状態に戻るとき, その準位の差に対応した波長の光子が出る。これは自然放出と呼ばれる現象である。ほか

で発生した光子が励起された別の原子に入射すると, 誘導放出によって, 入射した光子と方向・位相がそろった光子がもう一つ放出され, 結果として光子が2倍に増える。光子がリアミラーとフロントミラーの間を往復することにより, その方向の光子が急激に増幅されレーザーとなる。フロントミラーは半透明のミラーであり, 一定の割合のレーザー光を通過させる。フロントミラーを通過した光が装置としてのレーザー出力となる。これらの現象が励起光ランプが発光している約 1ms 続く。

従来装置ではヘッド出力のピークパワー密度が低いため, レーザー光を光ファイバに集束させ導光することが可能であった。そのため導光路は, 細いフレキシブルな1本の光ファイバで構成している。

3 Qスイッチ型治療用ルビーレーザー装置の特長

今回開発した装置の特長は次のとおりである。

- (1) 高速にレーザー光をスイッチングするQスイッチ技術の採用により, ピークパワー $200\text{MW}/\text{cm}^2$ 以上のレーザー出力が得られるため, 皮膚深部 ($\sim 2\text{mm}$ 程度)のメラニン色素を選択的に破壊し治療できるようになった。
- (2) 照射時間が 30ns と極めて短いため, エネルギー密度としては $4\sim 7\text{J}/\text{cm}^2$ と少ない。したがって, 正常組織に与える影響が少なく, 瘢痕化を起こす可能性が低い。
- (3) 不均一なレーザービームを均一化するカライドスコープの採用により, むらのない治療が可能である。
- (4) 照射野位置決め用の白色光ガイドを装備しているため, 正確な治療ができる。

表1にLRT-301A/QSの主な仕様を示す。

3.1 ヘッドの構成(図3)

ヘッド部と導光路部の構成が従来機種と大きく異なる。ヘッド部はリアミラーとフロントミラーの間にポラライザとポッケルスセルを追加した構成となっている。ポラライザはレーザー光のうち, 直線偏光光を透過させる偏光フィルタである。ポッケルスセルはその制御電圧によって通過する光の偏

表1. LRT-301A/QSの主な仕様
Main specifications of LRT-301A/QS

発振波長	694nm
照射時間	約 30ns
照射面積	$4 \times 4\text{mm}^2$
照射エネルギー密度	4, 5, 6, $7\text{J}/\text{cm}^2$
照射繰返し周期	30ショット/分
寸法	$500(\text{W}) \times 1,000(\text{D}) \times 1,100(\text{H})\text{mm}$
質量	約 300kg
電源設備	100V, 30A
使用環境	$10\sim 30^\circ\text{C}$, $30\sim 85\%\text{RH}$

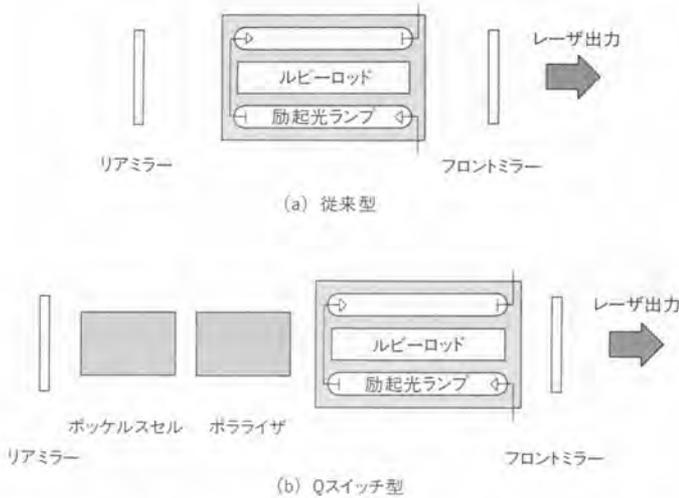


図3. レーザヘッドの構成 Qスイッチ型ではポラライザとポッケルスセルが追加された。

Block diagram of laser heads

光方向を変えることができるスイッチ素子である。ポラライザによって直線偏光光となった光は、ポッケルスセルに高電圧を加えることによって円偏光光に変換される。リアミラーで反射され再びその光がポラライザに戻ったとき、偏光面が入射時と90度異なるためそのフィルタ効果によって遮光される。つまり、共振器はOFF状態となり、レーザー発振は起こらない。この状態で励起光ランプを発光させると、ルビーロッドでの励起状態が非常に強くなる。

ポッケルスセルの制御電圧が0のときには、通過する光の偏光方向は変わらない。ポラライザによって直線偏光光となった光は直線偏光光のままポラライザに戻りそのまま通過する。つまり、共振器はON状態となり、レーザー発振が可能となる。励起光ランプの発光が終わるタイミングでポッケルスセルにかかる電圧を急に0にすると、ヘッド内での発振が始まり、一気に誘導放出を起こす。強い励起状態でレーザー発振させるため、高いピークパワーが得られる。さらに、残留励起の誘導放出だけとなるため、結果として短い照射時間が得られる。

3.2 多関節導光路

従来機種ではヘッド出力のピークパワー密度が、 $40\text{kW}/\text{cm}^2$ と低かったため、レーザー光を集束させ細いフレキシブルな光ファイバで導光することができた。Qスイッチ型ではヘッド出力のピークパワー密度が、 $200\text{MW}/\text{cm}^2$ 以上と高いため、複数枚のミラーによって反射導光する方式とした。

3.3 ハンドピース(図4)

3.3.1 カライドスコープ⁴⁾ カライドスコープは不均一なレーザービームを均一化する東芝独自の技術である。Qスイッチ型で使用しているカライドスコープは東芝の高い加工技術で鏡面加工された金属性の中空カライドスコープである。

ハンドピース入り口まで導光されたレーザー光は、集束レン

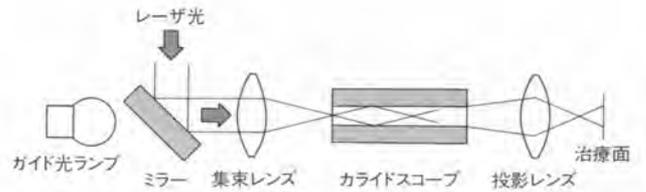


図4. ハンドピースの構成 当社独自の技術であるカライドスコープが実装されている。

Block diagram of handpiece

ズによって集束されカライドスコープに入射する。レーザー光は、カライドスコープ内で反射され均一なレーザー光となる。カライドスコープの出力光は、投影レンズによって治療面に投影される。照射野が正方形であり、治療面でのレーザー光が均一であるため、むらのない治療が可能である。

図のように投影レンズの焦点より治療面が遠くにあるため、治療面から遠くに離れるに従って、レーザーのエネルギー密度は急速に低下する。30cm以上離れた位置では皮膚などに影響を与える可能性はきわめて低い(JIS C 6802)。

3.3.2 ガイド光 ガイド光ランプを図のように実装することにより、ガイド光がレーザー光と同じ光路を通過して治療面に投影されるため、ガイド光はレーザーの照射位置を正確に示している。また、ガイド光は白色であり、治療中、術者が保護眼鏡をかけた状態でも明瞭(りょう)に見える。このガイド光が治療時の位置決め操作を容易にしている。

3.4 操作手順

まず、操作パネル(図5)のキースイッチによって電源スイッチを入れ、“ENERGY DENSITY”スイッチでレーザーエネルギー密度を選択し、“CHARGE”スイッチを押せば、照射可能状態となる。照射可能状態のときは間欠的な警告音で照射可能であることを知らせる。この状態でハンドピースを治療部位に当てフットスイッチを踏めば治療ができる。

3.5 安定性

レーザーの出力を安定させるためにはルビーロッドの温度を一定に保たなければならない。



図5. 操作パネル “ENERGY DENSITY”スイッチでエネルギー密度を選択し、治療する。

Control panel

この装置では、冷却器とヒータを内蔵しルビーロッドの冷却水の温度を制御しているため、10~30℃の広い温度範囲の環境で、レーザー出力を安定させている。

4 臨床評価^{(5),(6)}

4.1 治療のようす

レーザーの照射には無麻酔あるいは皮膚表面麻酔軟こうを使用した。レーザーのエネルギー密度は6J/cm²を使用した。

照射直後に照射野に一致し、皮膚が白くなる現象が認められたが、この現象は15分くらいで消失した。瘢痕などの副作用は1例もなかった。

色調はレーザー照射後徐々に薄くなり、通常2回目のレーザー照射後には患者自身が色調の薄くなったのに気付くようになることが多かった(図6)。



図6. LRT-301A/QSによる太田母斑の治療例 治療前(左)と治療後(右)の例(帝京大学ご提供)

Results of treatment of Ota's nevus with LRT-301A/QS

4.2 治療成績

治療対象は太田母斑患者で、男性25名、女性89名の計114名、年齢は8歳から63歳までであり、レーザー照射間隔は3~4か月おきであった。効果は、レーザー照射前に臨床写真を取り、その臨床写真を基に、治療前後の改善度を判定した。効果判定は次回レーザー照射直前に行った。

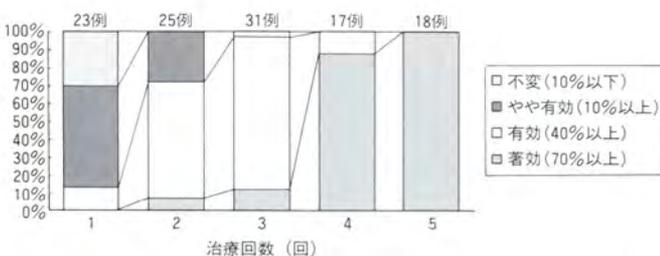


図7. 帝京大学における太田母斑の臨床治療効果 治療回数5回以上の症例では臨床効果が100%著効であった。

Efficacy of Q-switched type ruby laser in treatment of Ota's nevus at Teikyo University School of Medicine

複数回治療した結果を図7に示す。評価尺度としては、治療前の色の濃さを100とし、改善率を不変は±10%、やや有効は40%未満、有効は70%未満、著効は70%以上とした。治療回数5回以上の症例では臨床効果が100%著効であった。

5 あとがき

太田母斑、青色母斑など皮膚の深い部分に発生するあざの治療を目的としたルビーレーザー装置を開発し、帝京大学において良好な臨床評価を得た。

Qスイッチルビーレーザーによる皮膚の色素異常疾患治療は、副作用も少なく高い臨床成績が得られているが、さらに最適な治療方法の確立にはレーザー光のパワー密度、エネルギー密度の設定などを含めた検討が必要である。また、この治療方法は歴史が浅いため長期的な視点での副作用についても今後検討していく必要がある。

謝辞

この装置の開発にあたり、共同研究を通して多大なご指導と臨床的評価をいただいた帝京大学医学部皮膚科 渡辺晋一教授に深謝する。

文献

- 清水 進, 他: ルビーレーザーと医療応用, 東芝レビュー, **45**, 4, pp. 353-355 (1990)
- 上田説子: ルビーレーザー(ノーマル発振)による扁平母斑, 老人性色素斑, 疣状母斑の治療, 第93回日本皮膚科学会, p.357(1994)
- 若松信吾, 他: レーザーによるポートワイン血管腫の治療—色素レーザーとアルゴンレーザーとの比較, 形成外科, **31**, 11, pp.1024-1035 (1988)
- 伊藤 弘, 他: 表面処理用ビームホモジナイザの開発とその応用, The Review of Laser Engineering, **22**, 11, pp.935-942 (1994)
- 渡辺晋一, 他: 太田母斑に対するQ-switched ruby laserの治療効果, 第14回日本レーザー医学会, pp.227-230(1993)
- S.Watanabe, H. Takahashi: Treatment of Nevus OTA with the Q-switched Ruby Laser, New England Journal of Medicine, **331**, 26, pp.1745-1750(1994)



鈴木 薫 Kaoru Suzuki

1981年入社。画像処理LSI, 結石破砕装置の開発設計に従事。現在, 那須工場医用機器第三技術部主査。

Nasu Works



山内 茂哉 Shigeya Yamauchi

1991年入社。結石破砕装置, 治療用ルビーレーザー装置の開発設計に従事。現在, 那須工場医用機器第三技術部。

Nasu Works



本田 哲也 Tetsuya Honda

1987年東芝メディカルエンジニアリング(株)入社。治療用ルビーレーザー装置の開発設計に従事。現在, 東芝メディカルエンジニアリング(株)。

Toshiba Medical Engineering Co., Ltd.