総説**REVIEW ARTICLE****レーザーの機器特性を考える～新型Qスイッチルビーレーザーを例に～**谷口 由紀¹, 大城 俊夫², 大城 貴史¹, 藤井 俊史¹, 佐々木 克己¹¹大城クリニック²日本医用レーザー研究所

(平成20年2月25日受理, 平成20年6月12日掲載決定)

**Considerations of laser characteristics
～ as an example new model Q switched ruby laser ～**Yuki Taniguchi¹, Toshio Ohshiro², Takafumi Ohshiro¹, Shunji Fujii¹, Kastumi Sasaki¹¹Ohshiro Clinic²Japan Medical Laser Laboratory

(Received February 25, 2008, Accepted June 12, 2008)

要 旨

レーザーの機器特性により, 治療効率や治療経過及び治療計画が左右される. そのため, 臨床医が機器特性を理解する事は重要である. しかし, レーザーの機器特性を考慮しないで, レーザー照射を行っている臨床医も多い. レーザーの機器特性を決定するものは, 発振器, 出射されたレーザーを集光及び整形するレンズ, そして光断面強度分布を均一化するホモジナイザーなど多岐にわたる. 新型Qスイッチルビーレーザーを例に機器特性が臨床治療に及ぼす影響から, 光学性能の理解の重要性を提案する.

キーワード: ビーム強度, ホモジナイザー, 光学性能, 冷却装置, 治療効率

Abstract

The characteristics of laser hardware influence the treatment progress, plan and efficacy. It is important that clinicians understand the specifics of laser characteristics. However most clinician do not consider the characteristics of laser when they are treating a patient. The integral parts which affect the quality of laser light are the oscillator, the lens which focuses and arranges laser light, and the homogenizer which allows uniform distribution of light intensity. The quality and performance of these parts influence clinical results. Using a new model Q switched ruby laser as an example and from the treatment results there of, we demonstrate and suggest the importance of understanding optic properties of the laser hardware.

Key words: laser intensity, homogenizer, optics property, cooling system, treatment efficiency

¹〒160-0016 東京都新宿区信濃町34番地JR信濃町駅ビル2F TEL: 03-3352-0046 FAX: 03-3354-1103
(JR Shinanomachi station Building 2F, 34 Shinanomachi, Shinjyuku-ku Tokyo, 160-0016, Japan)

²〒160-0016 東京都新宿区信濃町34番地JR信濃町駅ビル2F
(JR Shinanomachi station Building 2F, 34 Shinanomachi, Shinjyuku-ku Tokyo, 160-0016, Japan)

Corresponding author: info@jml.co.jp

1. はじめに

固体レーザーであるQスイッチルビーレーザーは、メラニンに選択性が高くヘモグロビンおよびコラーゲンに吸収されにくい694.3nmの波長となっており、メラニン色素系の皮膚異常疾患に高い治療効果を認める。反面、既存のQスイッチルビーレーザーのレーザービームは光断面強度分布が均一でない、冷却装置の性能が悪いため発振器が破損しやすく治療過程でオーバーヒートが生じる、冷却装置の電気消費量が多いなどのデメリットを認める。

2006年9月にNIIC社から販売された新型のQスイッチルビーレーザーIB101は、画期的なレーザービームの実現と効率の良い冷却装置の採用がなされ、既存のQスイッチルビーレーザーのデメリットが改善されている。本稿ではレーザー機器の構成を述べ、新型のQスイッチルビーレーザーIB101を例に、レーザーを構成しているパーツの機器特性とそれに伴う治療結果の変化につき概説する。

2. レーザー機器の構成について

レーザー機器は、レーザーの発振に関わる発振器、出射された光を集光及び整形するレンズ、導光路としてのファイバーやマニピュレーター、あるいはハンドピースなどのパーツが組み合わさって成り立っている。

この中で、レーザー発振器は複数のシステムにより構成されているもので、以下の4システムがレーザー発振器の基本構成である。

1. 能動媒質を含む光学共振器システム
2. 励起エネルギーを提供するシステム
3. トリガー及びコントローラシステム
4. 放熱のための冷却システム

レーザーを発振させる為には、光共振器とその中に設置された媒質、媒質を励起する為の装置、レーザーを発振させるトリガーの3システムが必要である。しかし、励起エネルギーの全てがレーザー発振に使われるわけではなく、発振に使用されなかったエネルギーは熱エネルギーとなって発振器自体の加熱に寄与するため、レーザーヘッドには冷却装置も必要となり、発振器は4システムから構成されている。

このように、レーザー機器は多くのパーツから成り立っており、各パーツの性能により治療効率や治療経過及び治療計画が左右される。

3. レーザービームの光学性能と臨床効率

レーザー光は共振器から発振モードが選択されて誘導放出されるものであるが、能動媒質の諸条件および光共振器の設計、励起部の発光強度・時間によりモードが確定される。医療用固体レーザーとして利用されるQスイッチルビーレーザーからのレーザービームは、ほぼ単一横モードであるTEM₀₀モードのビームを出射する。TEM₀₀モードのレーザービームは、原理的に断面の放射強度分布がガウス分布(正規分布)となっているため、断面内位置に対して強度をプロットした3次元でとらえると、

Fig.1 TEM (Transverse Electromagnetic Mode)
The relationship between TEM₀₀ and beam diameter.

Fig.2 The mode of the beam of a Q switched ruby laser manufactured by a different corporation is shown on photosensitive paper.

その分布プロファイルは一峰性のガウシアンプロファイルとなる。通常、レーザービームのスポット径は、ビームの放射強度がピーク値の $1/e^2$ (13.5%)になるビーム径が採用されている¹⁾。Fig.1にTEM₀₀モードとレーザービームのスポット径の関係を示す。そのため、レーザーの光断面強度分布をみると、中心の放射強度が強く、周辺が

弱くなる。このため、出射された後にレンズで集光及び整形されただけのガウシアンビームでは、均一な照射には不向きであると考えられる。実際に既存のルビーレーザーを感光紙に照射すると、光断面強度分布が不均一で中心が強く反応している事と、レーザービームの形状が楕円である事が認識できる。レーザービームの形状が楕円であると、臨床現場ではレーザーの連続照射の度にアームの角度により楕円の軸が偏位していくのを経験する。結果として、このような治療装置を用いると、治療効果が不均一となる原因となり、照射手技上の煩雑さを発生させることになる。Fig.2に従来のQスイッチルビーレーザーの出射ビームを感光紙に照射したものを示す。

4. ホモジナイザーと臨床効率

レーザービームを均一化する光学デバイスをホモジナイザーという。ホモジナイザーを使用すれば、レーザービームの形状を円形に整形する事が出来、均一な光断面強度分布を得る事が可能となる。Fig.3にホモジナイザー使用によるレーザープロファイルの変化をコンピュータ

Fig.4 The mode of the beam of NIIC Q switched ruby laser is shown on photosensitive paper.

Fig.3 A comparison between laser beam profiles when using a homogenizer Laser beam intensity is homogenous²⁾. (This graph is taken from Laser Focus World Japan, used with permission.)

で解析した例を示す²⁾。ホモジナイザーは均一な光断面強度分布を作成し、形状を整形するのに有用である。そして、ホモジナイザー自体の種類や設置部位によって、性能および耐性が異なってくる。2006年9月にNIIC社より販売された新型のQスイッチルビーレーザーIB101は、高性能のフライアイというホモジナイザーがマニピュレーター内に設置されている。フライアイにより、均一な光断面強度分布が得られ、レーザービームの形状も円形となる。また、マニピュレーター内に設置されている事により、ハンドピース内に設置する場合と比較して破損する確率が少なく、耐性が良い。临床上、ホモジナイズされたレーザービームは均一な治療効果を生じ、照射手技の煩雑さの消失につながる。実際に、Fig.4に新型IB101の出射ビームを感光紙に照射したものを示す。光断面強度分布が矯正されて均一となっており、形状が円形である事が確認できる。

5. 冷却装置と治療

固体レーザーは発振効率が悪いので、レーザー機器本体が加熱しやすい。そのため、オーバーヒートを生じて、動作ができなくなり、治療の中断を余儀なくされることもしばしばである。長時間・安定に作動させるためにはレーザー機器の基本構成に冷却装置は必要不可欠なものであるが、方式としては空気冷却(自然空冷と強制空冷)および水冷却がある。発振効率が悪い固体レーザーの場合は、特に優れた冷却装置が必要とされる。

従来、ルビーレーザーは動作環境の基準が厳しく、内部閉鎖式水冷を採用しているが、空調設備の整った部屋で管理が必要であった。特に湿度の高い日本では結露が

Fig.5 The recommended environment for the use of conventional Q switched ruby laser.

生じやすく発振器の破損の原因となりメンテナンス費が高価という短所もあった。Fig.5に従来のQスイッチルビーレーザーで推奨される動作環境(室温と湿度)を示す。

新型のQスイッチルビーレーザーIB101は、外気温の変動に左右されないで、密閉された発振器を冷却する水冷式チラーが採用されている。そのため、レーザー機器本体の冷却は必要でなく、常温で設置可能である。また、湿度の調整にも工夫がされており、結露が生じにくく、メンテナンス費が安価となる。密閉回路を利用したチラー方式は、電気代のコストダウンにも有効である。冷却効率の向上の結果として、機器のオーバーヒートが防げるようになり、治療計画を立てる上で有益である。

6. 機器管理

メラニン色素系の皮膚疾患の治療に際し、臨床結果に影響を与えるという点で、臨床医がレーザー機器を管理し、レーザー機器の特性を理解することは重要である。

機器管理が行き届いていないと、キャリブレーションを必要としない機器の場合は、表示されたエネルギー密度と出射端のエネルギー密度が異なることとなる。この場合、出射端エネルギー密度は表示されたエネルギー密度より低い。エネルギー密度を同じに設定しても機器の調子により出射端エネルギー密度にばらつきがあるため、信頼性のある治療が行えない。出射端エネルギー密度が低いと、真皮に標的色素であるメラニンがある場合は表皮メラニンにほとんどのレーザー光が吸収され、真皮のメラニンの破壊が起こらないことがある。結果として二次性色素沈着が生じるのみで治療効果がない。キャリブレーションを行う機器の場合は、希望するエネルギー密度を入力しても出射可能な最大エネルギー密度が希望するエネルギー密度を下まわり、治療を断念することがある。レーザー機器の管理を怠ると予期せぬ治療経過をたどったり、治療を断念せざる得ない事があり、定期的な

メンテナンスを行うことは重要である。

一方、メンテナンスを定期的に行い、照射手技を丁寧に行っているにもかかわらず生じる、不均一な色素の消退現象や格子様の炎症後色素沈着の出現がある。この現象は、単なる波長・照射時間・エネルギー密度等のパラメーター設定の理解では解決されず、理解出来ない臨床医も多いと考える。これは、レーザービームの光強度分布を考えると、自然発露的な現象である事が解る。治療段階で生じる治療効果の不均一性や格子様の二次性色素沈着に不安を覚える患者も多く、最終的に色素は均一に消退するが、患者ストレスになる現象であるため、レーザー機器の特性を理解したインフォームドコンセントは患者に安心感を与え有用である。

また、レーザー機器がオーバーヒートを起こすことは、広範囲の全照射を行う上でよく経験する事であった。临床上、効率の良い冷却システムが搭載されているということは、オーバーヒートの可能性を抑え、長時間におよぶ安定性のあるレーザー照射が可能になることを意味する。広範囲のレーザー患者を治療する時には、全身麻酔で行われる事も多く、オーバーヒートした場合は機器の回復に要する麻酔時間の延長などが問題となる。また、局所麻酔の患者ではオーバーヒートが生じると疼痛管理の問題もあり、治療の中断や機種を変えて照射することがある。冷却装置の性能の向上により、治療計画が立てやすくなり、患者への負担を減じる事ができる。レーザー機器の特性により、治療効率や治療経過及び治療計画が左右されるため、臨床医がレーザー機器の特性を理解する事は重要であると考ええる。

レーザー機器を構成するパーツの性能の向上は、臨床現場に大きく貢献してくれるものである。日本企業の製品は海外の製品に比し、光学デバイスの性能が優秀であり、今後の機器開発に期待がもたれる。

7. まとめ

新型のQスイッチルビーレーザーIB101を例に、レーザー機器の構成、レーザーを構成するパーツの光学性能、およびその機器特性が影響を及ぼす臨床上的の変化を述べた。臨床医がレーザー機器の特性を理解し、治療効率や治療経過及び治療計画を考慮する事は重要である。

参考文献

- 1) 荒井恒憲; レーザーとは、皮膚科・形成外科医のためのレーザー治療, 2-15, 2000, MEDICAL VIEW社
- 2) 井上憲人: ホモジナイザーに新技術, Laser Focus World Japan, 49-51, 2005, イーエクスプレス.

著者紹介

谷口 由紀 (Yuki Taniguchi)
1999年大阪市立大学医学部卒業，同年同大学形成外科入局，2006年より医療法人社団慶光会大城クリニック勤務，日本レーザー医学会指導医・レーザー専門医，日本形成外科学会専門医，日本抗加齢医学会専門医。

大城 俊夫 (Toshio Ohshiro)
1965年慶應義塾大学医学部卒業，1966年慶應義塾大学病院形成外科入局，1981年レーザー安全性標準化委員就任 (財団法人光産業ジギョツ振興協会)，1988年国際レーザー治療学会初代会長就任，英文医学雑誌 "LASER THERAPY" 初代

編集長就任，1990年国際治療学会 (ILTA) 第1回大会会長就任，1991年日本レーザー治療学会理事就任，1992年国際レーザー治療学会 (ILTA) 名誉会長就任，1996年慶應義塾大学医学部客員教授就任，1998年国際レーザー医学会 (ISLSM) 事務局長就任，2000年米国レーザー医学会 (ASLMS) 財務委員就任，2004年日本レーザー医学会副理事長就任，2005年世界レーザー医学連合会 (WFSLMS) 事務局長就任，2007年日本レーザーリプロダクション学会会長就任，血液を大切にする会副理事長就任，ハルビン大学名誉教授就任。

大城 貴史 (Takafumi Ohshiro)

1996年慶應義塾大学医学部卒業，同年同大学形成外科入局，2004年より医療法人社団慶光会大城クリニック勤務現在同クリニック副院長及び慶應義塾大学病院非常勤医師，日本レーザー医学会指導医・レーザー専門医，日本形成外科学会専門医，日本レーザー医学会評議員，日本レーザー治療学会評議員，日本形成外科学会評議員専門は形成外科学，レーザー医学，特に各種母斑に対するレーザー治療。

藤井 俊史 (Shunji Fujii)

1993年慶應義塾大学医学部卒業，同年同大学形成外科入局，2000年より医療法人社団慶光会大城クリニック勤務現在同クリニック副院長。

佐々木 克己 (Kastumi Sasaki)

1982年慶應義塾大学医学部卒業，同年同大学形成外科入局，1988年より医療法人社団慶光会大城クリニック勤務現在同クリニック副院長及び慶應義塾大学病院非常勤医師，日本レーザー医学会指導医・レーザー専門医，日本形成外科学会専門医，医学博士。