レーザー解説

医用半導体レーザーの現状

神川喜代男*

(1990年6月20日 受理)

Present Status of Medical Use of Semiconductor Lasers

Kiyoo KAMIKAWA*

(Received June 20, 1990)

Pulsed and CW semiconductor lasers have been applied following a He-Ne laser, to the medical treatment of pains, inflammations, trophic ulcers and indolent wounds. Biological effects specific to lasers, wavelength, coherence, photoacoustic and electromagnetic effects, are briefly discussed with regard to the biostimulative mechanisms of low level laser therapy.

Key Words: Semiconductor laser, Biostimulation, Low level laser therapy.

1. はじめに

現在のところ半導体レーザーの発振波長は、赤外ないし近赤外域が中心である。そして半導体レーザーの発振特性を改良するために材料や構造についての研究が進められ、とくに波長が $0.8\sim 1.7\mu\text{m}$ の光通信用の高性能の半導体レーザーが作られるようになった。しかしそれらの連続発振の出力は、通常100mW未満である。このような波長と出力の制約によって、医用半導体レーザーの応用は、狭い領域にとどまっているのが現状である。その領域とは、レーザーによる生体刺激作用に関する分野である。従来の医用高出力レーザーの華々しい活躍に比べて地味な分野ではあるが、光生物学の発展に寄与するものと期待される。このような観点に立つて、医用半導体レーザーの現状を紹介する。

2. レーザーの生体刺激作用

電磁波の生体障害作用の一例として、X線の発がん作用がよく知られている。そこでハンガリーのMester¹⁾は比較的弱いルビーレーザーの反復照射による生体反応を検討した。剃毛したマウスの背部への照射で、 1 J/cm^2 の照射条件では発毛促進が認められ、照射量がある値をこえると逆に発毛が抑制されることを見出した。続いて実験的に皮ふに損傷を作製し、適量のレーザー照射が損傷部の治癒を促進することを確めた。これらの実験結果に基づいて、Mesterは1971年からレーザーによる難治性皮膚潰瘍治療を開始した。臨床では出力50mWのHe-Neレーザーまたは出力100mWのArレーザーを使用し、 4 J/cm^2 を至適照射条件とした。1970年代では彼の業績は高く評価されなかった。しかし1980

* 明治鍼灸大学 (〒629-03 京都府船井郡日吉町)

* Meiji College of Oriental Medicine (Hiyoshicho, Funaigun, Kyoto 629-03)

年代に入り、多くの追試が $2-4\text{ J/cm}^2$ を適量とすることを認め、Mesterの基礎的研究の成果の蓄積と相まってにわかに注目を集めるようになった。

一方レーザーを光刺激として経穴治療に応用することをカナダのPlog²⁾が考案した。1973年に実験を開始し、数年後に西独MBB社のKroyがakup Laser System Plog'と命名されたHe-Neレーザーハリ装置のプロトタイプを試作した。1970年代の終りになると、上海で至陰と呼ばれる足のツボに出力数mWのHe-Neレーザーを照射し、骨盤位の胎児を正常位に復させるのに成功したニュースがわが国に伝えられた。

3. 半導体レーザー治療器

生体刺激を目的としたレーザー治療器に半導体レーザーの応用が試みられたのは、1970年代の後半と思われる。まずヨーロッパで半導体レーザー治療が開発された。その初期の治療器の代表がイタリアのSpace社のCEB型のものである。GaAlAs半導体レーザーが用いられたが、そのプロトタイプでは、波長835nm、尖頭出力5W、パルス幅30ms、繰返し頻度350Hz、放射角度 $9^\circ/15^\circ$ のものが使用された。そして1981年にはManuale di LASERTERAPIA I. R.と題する単行本が出版された³⁾。

一方半導体レーザーの連続波を利用した治療器の開発はわが国で行なわれた。そして1980年にはその臨床報告が行なわれた。

年毎に増加する半導体レーザー治療器をすべて把握することは難しい。そこで代表的な機種を事例として挙げ、概略を紹介する。

3.1 パルス半導体レーザー治療器

GaAs半導体レーザーと、GaAlAs半導体レーザーとが使用されている。いずれも波長は904nmであるが、機種によって尖頭出力は2~10W、パルス幅100~200nsと異なる。とりわけ繰返し頻度が機種によって大きな相違を示すが、この問題は5章で論ずる。

Fig. 1はイタリアSpace社製のCEB型治療器

Fig.1 Pulsed semiconductor laser apparatus made in Italy.

Fig.2 Pulsed semiconductor laser apparatus made in France.

である。使用するGaAs半導体レーザーは、波長904nm、尖頭出力5W、パルス幅100~150ns、繰返し頻度550~700Hz、平均出力0.3mWである。先端はプラスチックのレンズである。

Fig. 2はフランスSedatelec社製のSTOMALASERである。口腔内照射に適するように、ハンドピースが軽くくの字形に弯曲している。レーザーはその先端部に取付けられ、レンズで保護されている。GaAs半導体レーザーで、波長は904nm、尖出力2W、パルス幅200nsである。スイッチで47.5Hzから3040Hzまでの7組の繰返し頻度の1つを選ぶ。その使用書によれば、基本的なパルスはAと標示された190Hzで、他のパルスは原則的にパルスAと併用する。

3.2 連続波半導体レーザー治療器

Fig. 3は松下産業機器社製のGaAlAs半導体レーザー治療器である。波長は830nmで、出力20mWの素子を3個アレイ型に配置して、一点にビームを集中させ、合計で60mWの照射を行なう仕組みになっている。

最近では、波長780nmのGaAlAs半導体レーザーで、出力30mWの素子を使った治療器が開発された。また1素子の出力は10mWであるが一台の治療器に5チャンネルを備え、そのうちの4チャンネルは陰圧による吸着パッド内にレーザー出口が設けられ、タッチセンサーの作動によって照射が開始される治療器が開発された (Fig. 4)。残りの1チャンネルにはペンシル型のハンドピースが接続されている。この装置はツボ照射に適するように開発されたものである。

Fig.3 CW semiconductor laser apparatus made in Japan.

Fig.4 Illustration of sucker type pad with touch sensor of Seirin Laser Model SKL-101.

Fig.5 Mixed type of laser apparatuses made in Italy.

Left: He-Ne laser + 5 pulsed semiconductor lasers.

Right: He-Ne laser scanner + 3 pulsed semiconductor lasers.

3.3 混合型レーザー治療器

半導体レーザー治療器の開発には治療器の小型化と取扱い易さが追求される。しかしより強力なレーザー照射で、治療に要する時間の短縮と、治療効果の促進を求めた結果、大型化した治療器がある。その代表がFig. 5に示すSpace社製のMIX 5 MID LASER (右側)と、He-Ne M3 MID LASER (左側)である。

前者はレーザー出口から30cmの距離のところに、出力5mWのHe-Neレーザーが径4cmのスポットとなり、そのスポット内にCEB型の5本のレーザービームが照射される。近赤外部レーザー照射量を増し、同時にガイド光のHe-Neレーザーの生体刺激作用による増強効果を企図した治療器である。後者は出力6.5mWのHe-Neレーザーを走査して面照射を行なうと同時に、CEB型レーザーの2本のビームがこれに重ね合せられる装置である。そして装置に別のCEB型のハンドピースが接続され、面治療に加えて、ツボ照射による治療効果の増強がはかれる。

以上が半導体レーザー治療器の現状のあらましである。

4. 波長とコヒーレンスの問題

波長0.8~1 μ m域の光は赤色光よりも組織の深達性が高い。He-Neレーザーとの比較で半導体レーザーの利点として指摘されている。しかし深達性が低いとみられるCO₂レーザーでも鎮痛、消炎、さらに創傷治癒促進の効果がえられる。したがって生体刺激作用の波長依存性を強く主張することは、必ずしも妥当ではない。

また組織内で多重散乱する近赤外レーザー光の画像をみると、一点に集中照射したつもりであっても、実際はかなり広い範囲を照射しているのだと認識せねばならない。そうすると、なにもレーザーを使用しなくても、通常の赤色光で治療が行なえるではないかという意見が登場する⁴⁾。偏光をかけない発火ダイオード光と、直線偏光した発火ダイオード光とでは、創傷治癒と促進効果に相違があるとする実験結果が反論として出される⁵⁾。波長依存性やコヒーレンスに関しては、さらに精密な、そして幅の広い実験結果をまわって結論を下す必要がある。

5. 熱効果か非熱効果か

連続波レーザーの照射では、照射部に若干の皮ふ温度上昇がみられる場合がある。平均出力が1 mW以下のパルスレーザー照射でも、同じことが観察される。しかしこの皮ふ温度には、局所に生じた血管反応によって生じた皮ふ温度上昇が混じている場合がある。弱いレーザーの照射では、皮ふに何らの刺激感覚を生じないので、一般にはレーザーには非熱効が存在するだろうと考えられている。

尖頭出力が数ワットのパルスレーザーでは照射部に熱応力が発生し、これが皮ふに機械的刺激を与えているものと考えられる。前述したSTOMALASERではこの光音響効果を重視し、7段階のパルスモードが設定された。連続波レーザー治療器のなかには、断続照射を可能としたものがある。しかし変調刺激と非変調刺激とを比較して、その治療効果を数値で示すことは難しい。臨床的経験から導き出された変調刺

激効果を見逃してはならないが、その変調周波数の治療に及ぼす効果に関する客観的資料は乏しい。

微弱なレーザーに関して、その電磁界効果を、論ずることは空論に等しい。しかし生体を構成する水分子が双極子であり、生体高分子を取囲む水分子は結合水としてある構造を形成している。しかもこの結合水が細胞機能に関連していることに注目すると、レーザーは結合水に影響を及ぼしているのではないかと想像される。この仮定から出発した実験は、残念ながら試験的研究の域を脱していない⁶⁾。

レーザーがADPをATPに変換させるとする報告に、多くの研究者が関心を寄せている。またレーザーは正常なATPaseには影響を及ぼさず、可逆的障害を加えたATPaseにはこれを正常に回復させるとする実験報告もある⁷⁾。後者の報告は、レーザーは正常組織には反応を生じなくても、病的な組織には著しい反応を生ずる臨床的事実を説明するのに都合がよい。

そもそも生体にはホメオスタシス（恒常性維持機能）が働いており、微弱なレーザーが治療効果を発揮するのは、この機能を介するものと考えられている。それにはレーザーが特定の組織を物理的に刺激して生ずると考えられるが、生体を流れている微弱な電気的信号を変調することによって生ずる場合もあるのではないだろうか。いずれにしても容易に解決しうる問題ではない。

6. まとめ

現在使用されている半導体レーザー治療器の代表的なものを紹介した。いずれもレーザーの生体刺激作用を利用した治療器である。そこでレーザーの生体刺激作用について、波長、コヒーレンス、光音響効果、電磁界効果など問題となる点について若干の解説を試みた。

参考文献

- 1) E. Mester: in *Lasers in Medicine* ed. H. K. Koebner (John Wiley & Sons, Chichester, New

- York, Brisbane, Tronto, 1980) p.83.
- 2) F.M.W.Plog: in *Lasers Medicine* ed.H.K. Koebner (John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Tronto, 1980) p.47.
- 3) L.Maturo: *Manuale di LASERTERAPIA I.R.* (Bayer Italia S.p.A.. Vicenza 1981) p.55.
- 4) T.I.Karu: IEEE J.Quantum Electron. OE-33 (1987) 1703.
- 5) 田口喜雄, 稲場文男: 東北電子産業レポート (1988, 7月) p.9.
- 6) K.Kamikawa: Surg.Med.Lasers 1 (1988) 93.
- 7) L. Bolognani, E. Davolio and N. Volpi: Proc. Int. Cong. Laser Med. Surg., Bologna, 1985 (Monduzzi Editore S.p.A., Bologna 1985) p.47.