特集 4

低出力レーザー治療

神川喜代男*・田和宗徳*・香山太志**
— 見正義**・中村康孝**

(1986年2月10日 受理)

Low Power Laser Therapy

Kiyoo KAMIKAWA*, Munenori TAWA*, Taishi KAYAMA**,
Masayoshi ICHIMI** and Yasutaka NAKAMURA**

(Received February 10, 1986)

1. はじめに

医療技術は、物理療法、化学療法、手術療法に大別される。化学療法と手術療法の目ざましい進歩に比較して、物理療法はがんに対する放射線、中性子、中間子による療法を除けば、遅れている印象を与える。しかし老令化の進む今日、リハビリテーションの重要性が認められ、薬害をきらって物理療法に頼る傾向が増してきた。こうした時代を背景として、レーザー医療の一部門として登場した低出力レーザー治療に関心が寄せられるのは、ごく当然なことと思われる。

多くの物理療法が医学の主流から遠ざけられていたのは、その作用機序の解明が進んでいないことや、治療効果に心理的要素が関係するため、十分な信頼が寄せられなかったことによる。歴史の浅い低出力レーザー治療にも、同様な批

判が向けられている。事実低出力レーザー治療の客観化に関する研究はようやく緒に着いたところであるが、これまでの研究の成果をここに紹介する。

2. 低出力レーザーによる創傷治癒促進

2.1 Mesterの実験と臨床

レーザーのがん治療への応用は1964年に開始された。そしてがん組織はレーザーの熱効果によって凝固または蒸散されることが判明した。しかしパルスレーザー照射によるがん細胞の転移、播種の問題が提示され、レーザー照射による発がんの可能性が論議された。1960年代の後半のことである。この頃、ハンガリーの E. Mester¹⁾ は発がんの問題を取上げ、剃毛したマウスの皮ふにルビーレーザーの反復照射を試みた。発がんは観察されなかったが、1 J/cm² の照射条件では発毛の促進がみられ、ある一定の

* 明治鍼灸大学臨床医学教室 (〒629-03 京都府船井郡日吉町)

** 武生市中村病院 (〒915 武生市天王町4-28)

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

** Nakamura Hospital (4-28, Tennocho, Takefu, Fukui 915)

照射量をこえると抑制がみられた。低エネルギーのレーザー照射は生体組織を賦活すると考えた彼は難治性潰瘍にレーザー照射を試み、出力50mWのHe-Neレーザーまたは出力100mWのArレーザーで4 J/cm²の照射を行なうと創傷治癒が促進されることを突止めた。そして作用機序解明の研究を行ない、レーザー照射によって生体ではコラーゲン産生能の増加、白血球の増加、プロスタグランディンF₂の増加とE₂の減少、S期の細胞の増加、末梢神経刺激効果、毛細血管の新生増殖などを見出した。

Mesterの報告のなかで、興味ある次の事実がある。それは両足の潰瘍の症例で一側のみに治療をしたにも拘らず、反対側の潰瘍にも治癒促進の効果が認められた報告である。彼はこの現象をレーザー照射によって生じた体液性因子によるものと考えている。この問題に関して、3.2レーザーの生体刺激効果の項で別の見解を述べる。

2.2 レーザーの組織刺激作用

Mesterの報告がドイツ、フランスで追試確認され、続いて各国でレーザーの組織刺激作用の研究が開始された。米国ではHe-Neレーザーおよび近赤外部半導体レーザーの照射によってヒトの線維芽細胞のプロコラーゲン産生能の増加を組織培養実験で認めた²⁾。

わが国では東北大学において動物に作製した創傷に2 J/cm²のArレーザーを照射すると治癒が促進され、6 J/cm²の照射ではその効果は減少することが認められた。さらに中心波長805nmの発光ダイオードを偏光すると創傷治癒に促進効果を示すことが証明された³⁾。

しかし中国(広州)のXuら⁴⁾は創傷治癒促進の効果に関しては赤色の波長が重要であって、コヒーレンシや偏光とは関係ないと報告している。またソ連のKaru⁵⁾も胃潰瘍治療に赤色光を照射すると治癒が促進され、コヒーレント光でなくても効果があると主張している。

多くの研究者の関心が赤色から近赤外部にかけての光に集っているが、イタリアのGalletti⁶⁾

は低出力のCO₂レーザーでHe-Neレーザーと同様な創傷治療効果をあげている。したがって細胞を賦活し、組織を活性化させる光作用の本態は不明のままであり、低出力レーザー治療の重要な研究課題を残している。

3. 局所照射による低出力レーザー治療

3.1 Plogによる研究とその臨床応用

創傷というある面積をもつ患部への低エネルギー密度のレーザー照射と異なって、限局した身体の一部に低出力レーザーを照射して疾患を治療する方法がある。カナダのPlog⁷⁾が1973年から翌年にかけて、皮ふに針を刺入して低周波通電を行なう電針治療の代りに、レーザーで皮下の特定の部位(鍼灸でいう経穴)を刺激する研究を行なった。彼の研究に基づいて西独のMBB社のKroyが出力数mWのHe-Neレーザー治療器を開発した。この装置は連続照射と1 kHzまでの変調照射とが可能で、疾患によって照射部位と照射方法とを選択し、頭痛や腰痛などの各種の痛みや、気管支喘息、不眠、夜尿症に有効であると報告された。

ヨーロッパではHe-Neレーザーの臨床応用と平行して半導体パルスレーザーの応用が研究され、わが国ではYAGレーザー^{8,9)}、続いて半導体レーザー¹⁰⁾による臨床治験が行なわれ、今日に至っている。中国ではもっぱら出力7~20 mWのNe-Neの連続照射が用いられ、その適応はTable Iに示すように、鍼灸治療の適応とき

Table I Indications of low power laser therapy.

A 筋性頭痛 肩凝り 五十肩 テニス肘 捻挫 打撲 寝違え 背痛 腰痛	C 関節ロイマ 気管支喘息
B 扁桃痛 歯肉炎 歯周肉炎 鼻炎	D 三叉神経痛 ヘルペス後神経痛 坐骨神経痛
	E 血管性頭痛 カウザルギー
	F 冷え レーノー現象 血管性壊疽

Table II Specification of low power laser stimulators.

各種のレーザー刺激器					
レーザーの種類	He-He レーザー	GaAlAs半導体 レーザー(連続波)	GaAlAs半導体 レーザー(パルス)	YAG レーザー	CO ₂ レーザー
波長 (nm)	633	780~830	904	1060	10600
出力	~20mW	~70mW	~10W (尖頭)	~300mW	不詳
パルス幅 (ns)			100~200		
照射様式	連続, 変調 ~5 kHz	連続, 変調 ~1200Hz	繰返し頻度 500~3000 Hz	連続, 変調 2~30 Hz	不詳

れる疾患を網羅している^{11,12)}。このレーザー治療は原因を除去する治療ではなく、症状を緩和する対症療法である。適応とされる疾患でも、レーザー治療が優れた効果を発揮するものもあれば、また他の治療を受けた方がよいものもある。

Table II に現在開発されている各種の低出力レーザー刺激器の性能をまとめた。赤色から近赤外のレーザーが使用されているのは、皮下数mmの深さまでレーザー光が達するからである。Fig.1 は牛乳に YAG レーザーを照射し、赤外線カメラで撮影した側面像である。生体組織では

Fig.1 YAG laser beam scattered in the milk, pictured by I.R. camera.

レーザー光は散乱、拡散し、ある容積をもつ部分が照射されていると推測される。半導体レーザーの連続照射とパルス照射について牛乳で観察した結果は、YAG レーザーとほぼ同じであった。

3.2 レーザーの生体刺激効果

出力数十mWのレーザーを皮ふに連続照射しても、何らの刺激感を知覚しない。しかし、レーザー刺激によって局所の血管反応を生ずると、皮下にほのかな温みを感じる。半導体パルスレーザーは尖頭出力5~10Wと高いが、その平均出力は数mW以下である。しかしこのパルスレーザーは多くの被験者にビリビリとする刺激感を自覚させる。このような知覚の問題を客観化することは難しいが、レーザーの生体反応をサーモグラムに現われる変化から窺うことができる。

Fig.2 は左足を捻挫し、足首から土踏まずにかけて痛みを訴える症例のサーモグラムである。左足の外踝と土踏まずに圧痛があり、この部に半導体パルスレーザー(尖頭出力5W, パルス幅100ns, パルス頻度550Hz)を照射すると、これらの圧痛点への照射は両足のサーモグラムに皮ふ温の上昇を生じた。上図は治療前、下図は土踏まずへのレーザー照射中のサーモグラムである。

Fig.3 は胸椎と左肩甲骨との間に痛みを訴える患者の YAG レーザー治療前(上図)と治療直後(下図)のサーモグラムである。圧痛を訴え

Fig.2 Thermograms of the patient complaining of left foot pain. Upper: before treatment. Lower: skin temperature raised up during treatment.

る左背部にレーザーを照射した結果、照射部を中心としたかなり広い範囲に皮ふ温の上昇が記録されている。患者は同部にほのかな温みを感じ、痛みは消失した。

Fig.4は左足脛骨神経損傷後に、損傷部から足底にかけての異常知覚と両足の冷えを訴える症例の記録である。治療前のサーモグラム（上図）では足背の皮ふ温は末梢に向うにつれ急激に低下している。治療後のサーモグラム（下図）では外見上皮ふ温は低下しているが、その温度勾配はなだらかになっている。このことは交感神経緊張によって収縮していた末梢血管が、レーザー治療によって拡張したことを示している。患者はレーザー治療中は異常知覚を自覚せず、治療後も数時間は効果が持続した。このように

Fig.3 Thermograms of the patient complaining of back pain. Upper: before treatment. Lower: skin temperature on the affected region raised up post-treatment.

レーザー治療は自律神経の異常を調節する作用や、知覚神経に影響を及ぼす作用をもっている。

一側の潰瘍に対するレーザー治療が反対側の潰瘍にも治癒促進効果をもたらした Mester の報告をここで検討してみよう。一側のレーザー照射が両側の末梢循環に変動を生ずることは、レーザー治療中しばしば観察される。これはレーザー刺激が脳脊髄の血管運動中枢を介して血管反応を生じたものと理解される。したがって、さきの Mester の報告も一側刺激による両側性末梢循環促進によるものと説明できる。形成外科では有茎皮弁の基部にレーザーを照射し、皮弁の血行を増加させることによって生着率を向上させている¹³⁾。このように低出力レーザー治療では末梢循環の改善が重要な働きをしている。

Fig.4 Thermograms of the patient complaining of dysesthesia of left foot. Upper: before treatment. Lower: skin temperature lowered, but gently-slooping post-treatment.

3.3 レーザー治療効果の客観化

レーザー治療では局所の末梢循環の改善が痛みの緩和につながる場合がある。しかし痛みの緩和に関しては、レーザー刺激によって体液中に鎮痛物質が増加するからであるとの考え方がある。ハリ麻酔の鎮痛効果を検討するのと同じ方法でレーザーの鎮痛効果を調べたところ、内因性モルヒネ様物質の関与が証明された¹⁴⁾。しかし臨床例で鎮痛物質を測定することは容易ではなく、まだ十分な資料はととのっていない。わが国の麻酔科でレーザー照射が人体痛覚閾値に及ぼす影響が調べられ、レーザー照射によって閾値の上昇、すなわち鎮痛効果の発現を認めた報告と認めなかった報告とがある^{15,16)}。そし

て鎮痛作用の発現に関しても、末梢神経から中枢神経にかけての神経回路網機構によるのか、あるいは体液性因子によるのかは十分に解明されていない。

痛みの治療効果判定で問題になるのは、患者の主観、心理的影響によって効果の判断が左右されることである。そこで薬効判定で行なわれている二重盲検がレーザー治療の効果判定にも適用されている。イタリアではテニス肘についてレーザー治療二重盲検を実施し、その効果の存在を確めた¹⁷⁾。不可視の近赤外レーザーを非接触で照射し、しかも照射と非照射とをコンピュータのプログラムに従って実施すれば理想的な二重盲検ができる。現在わが国ではこの方法が行なわれ、その資料が厚生省に提出されている。

低出力レーザーの体液性因子に及ぼす影響に関する報告は数少ない。そのなかにあって、関節ロイマにレーザー治療を行ない、体液成分の変動を調べている小山田らの報告¹⁸⁾が注目される。レーザー照射が代謝系に及ぼす影響の解明が期待される。またレーザーの抗炎症作用については、炎症モデル動物で研究が進められている¹⁹⁾。

さて生体の水の構造化が細胞機能と密接に関係することがわかってきた。そこでレーザーが生体の水に及ぼす影響をNMRで調べた。ナメクジにレーザーを照射し、プロトンの化学シフトを認めた。Fig.5はその記録で、トップのNMRは照射前、それから下段のNMRは照射1分後から10分後までの記録である。この研究は予備実験の段階で、これからさらに詳しく調べる計画を立てている。

4. おわりに

低出力レーザー治療の概略を紹介した。ここでは言及しなかったが、歯科、口腔外科、獣医学の分野でも低出力レーザー治療は応用されている。低出力レーザー治療は新しい治療法として注目され、その将来の発展が期待されている。しかし細胞への低エネルギー照射が発がん、変

Fig.5 Chemical shift of proton NMR in the slug irradiated with diode laser. Top curve: before irradiation. NMR shifted to right post-irradiation 1 to 10 min.

異をもたらさないだろうかという問題は解決されていない。したがってレーザーの生体に及ぼす影響について、基礎的研究を推進せねばならない。

謝 辞

本論文に使用した写真、図の作成にあたり御協力を賜った富士写真光機光学研究室、持田製薬ME事業所ならびに富士中央研究所、日本電子NMRグループ応用研究室の関係各位に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) E.Mester: Laser Application in Promoting of Wound Healing (*Laser in Medicine* Vol. 1. ed. H.K.Koebner, John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1980) p. 83.
- 2) T.S.Lam, R.P.Abertel, R.M.Dwyer and J.Uitto: *Laser Med. Surg.* 3 (1983) 189.
- 3) 益子, 島元, 稲葉, 田中, 大原, 葛西: 第4回日本レーザー医学会総会プログラム・抄録集, (1983年11月) p.107.
- 4) Xu Guo-Xiang, Luo An-Tai and Tang Guang-Zuo: Abstracts Int. Cong. Laser Med. Surg. Bologna, 1985 (Monduzzi Editore, Bologna, 1985) p. 53.
- 5) T.I.Karu: Abstracts of Int. Cong. Laser Med. Surg. Bologna, 1985 (Monduzzi Editore, Bologna, 1985) p. 217.
- 6) G.Galletti: 低エネルギーレーザー医学国際シンポジウム抄録集, 東京 (1985年7日) p.34.
- 7) F.M.W.Plog: Biophysical Application of the Laser Beam (*Laser in Medicine* Vol. 1. ed. H.K.Koebner, John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1980) p. 21.
- 8) 大西, 神川, 金谷, 鈴木: 第3回医用レーザー研究会論文集 (1979年11月) p. 61.
- 9) 神川, 大西, 鈴木, 金谷, 柴本: 日本レーザー医学会誌大会号 (1982年11月) p. 345.
- 10) 岡田, 高橋, 尾上, 伊藤, 丸山, ナロン, 小滝, 大城: 日本レーザー医学会誌大会号 (1980年11月) p. 47.
- 11) 黄: 第二届全国針灸針麻學術討論会大会發言稿, 北京 (1984年8月) p. 17.
- 12) 邱, 焦: 第二届全国針灸針麻學術討論会大会發言稿, 北京 (1984年8月) p. 28.
- 13) 久保田, 大城, 藤野: 日本レーザー医学会誌 5 (1985) No.3, 537.
- 14) Yu Chuan, Zhang Quanxin and Zhang Keija: Abstracts of the Second National Symposium on Acupuncture and Moxibustion and Acupuncture Anesthesia. Beijing, August 1984, p. 148.
- 15) 廖, 佐藤, 春木: 全日本鍼灸学会第36回學術大会予稿集 (1986年4月) p.161.
- 16) 小田, 上村, 山内, 佐藤, 篠原: 全日本鍼灸学会第36回學術大会予稿集 (1986年4月) p.164.
- 17) B.Palmieri: Medical Laser Report 1 (1984) 3.
- 18) 小山田, 伊豆: 第6回日本レーザー医学会大会・プログラム・抄録集 (1985年10月) p. 70.
- 19) 中野, 橋本, 富塚, バラオナ, 塩田: 日本レーザー医学会誌 5 (1985) No.3, 237.