

低エネルギーレーザー光照射による 生体刺激効果に関する実験的考察

藤原 修・竹本博之・阿座上孝

電気情報工学科

(1989年9月2日受理)

An Experimental Study on Bio-stimulation Effect due to Low Energy Laser Irradiation

Osamu FUJIWARA · Hiroyuki TAKEMOTO · Takashi AZAKAMI

Department of Electrical and Computer Engineering

(Received September 2, 1989)

The nerve-stimulation therapy using the low energy laser is being called the laser acupuncture. In accordance with the recent development and the dissemination of the semiconductor laser technology, the clinical investigations of the laser acupuncture have actively been conducted, while this appearance mechanism has not been elucidated. In establishing the effectively therapeutic conditions of the laser acupuncture, it is indispensable to find out the operation factors of the bio-stimulation caused by the low energy laser beam. From this perspective, we paid attention to the time fluctuations of the skin temperatures on the hand-back, and through this statistical analysis we examined the bio-stimulation effects due to low energy laser beam in relation to the irradiation conditions. This paper shows these results.

1. ま え が き

レーザー光の医学応用については、レーザーメス・光凝固装置等に代表されるように高エネルギーの熱効果を利用するものが主流であったが、近年は極短パルスレーザー光を用いた結石破碎や低エネルギーレーザー光による慢性病治療といったレーザー光の非熱的効果を積極的に活用する新しい光線療法が注目されている^{1),2)}。殊に、低エネルギーレーザー光を用いた神経刺激療法^{3),4)}はレーザー鍼(Laser acupuncture)と呼ばれ、最近の半導体レーザー技術の発達・普及と相まって、その臨床的研究が極めて盛んに行われるようになった。わが国では神川(明治鍼灸大学)らがレーザー鍼を用いた腰痛・神経痛等の各種の疼痛除去、運動障害・末梢神経障害の改善などに関する多数の臨床例を報告している⁴⁾。レーザー鍼の生体刺激因子としては光作用、電磁界作用、熱作用、圧力作用などが一般にあげられてはいるものの、支配的効果の発現機序は未だ明らかでない⁴⁾。これらの観点から、筆者らは、レーザー鍼の作用機序解明・効果の治療条件の確立を目的として、低エネルギーレーザー光照射の生体刺激効果を工学的立場から調べてきた⁶⁾⁻¹⁰⁾。

本論文では、低エネルギーレーザー光を被験者の指先に照射したときの手背皮膚温度の経時変動を測定し、これ

によって得られたレーザー光生体刺激効果を照射条件との関係において示す。

2. 実験方法

レーザー光を被験者右手人差指先へ照射し、手背皮膚温度変化をサーモグラフ装置で測定する。サーモグラフ装置は、温度を非接触で測定できるので装置の人体への影響は無視できること、温度を2次元的に測定・表示できるので分布の態様が一目で把握できること、などの利点があり、この種の実験に適しているものと考えられる。図1は実験の様子を示す。レーザー光照射装置は富士写真光機

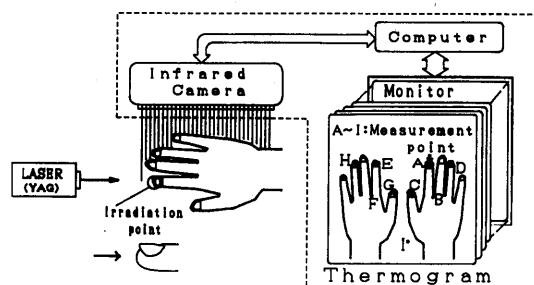


Fig. 1 Laser irradiation point and temperature measurement.

製の YAG レーザ (波長: 1034nm) のレーザー鍼である。同装置では最高出力200mWで連続照射と間欠照射 (5~30Hz) の治療が可能である。サーモグラフ装置は、日本電子社製 (J T G 500M) で温度分解能が0.01°C, 4秒毎の温度分布の測定が可能である。温度の測定部位としては、図1に示すように指先・水掻きなどの両手背指定点 (図中のA~Hの8点) と手背近傍の空間点 (I点) とした。実験群と条件を表1に示す。レーザー光の照射条件は文献4) のそれを参考にして決定した。なお、被験者は21~60歳の成人男子である。実験手順はつぎのとおりである。実験はレーザー光を照射する照射群とこれの対照群とに分けて行う。前者は両手背指定部位の温度測定を4秒毎に2分間行ない、その後レーザー光を照射しながら同部位の温度測定を4分間継続する。後者はレーザー光を照射せずに6分間の温度測定を行う。図2は照射群における手背温度分布の測定例を写真で示す。

3. 実験結果と考察

実験は6名の被験者について行ったが、本章では代表例として2名の被験者のデータを取り上げて議論する。図3, 4はレーザー光照射点近傍における皮膚温度変化の測定例を照射群と対照群とを比較して示す。これらの図

Table 1 Experimental group and conditions.

Group	Mode	Output Power	Subject	Irradiation Duration	Measurement Duration
Irradiation	CW	35mW	3	4min	6min
Irradiation	CW	100mW	6	4min	6min
Irradiation	PW*1	35mW*2	4	4min	6min
Control	—	—	4	—	6min

* 1 pulse width : 200ns, frequency : 5kHz
 * 2 average output power



Fig. 2 Thermogram of the temperature distributions on the hand-backs due to laser beam irradiation (CW : 35mW).

から、手背皮膚温度はゆらぎながら時々刻々と変化していること、手背温度と室内温度との間に変化の相関性が認められること、などがわかる。また、温度の経時変化については、被験者Aではレーザー光の照射前・中で温度が緩やかに上昇し続けているが、対照群でも同様の傾向がみられること、被験者BではAの場合とは異なった傾向がみられること、などから、図3, 4に示した皮膚温度の経時変化からではレーザー光照射の影響は直接認めにくい。それ故、本文においては温度ゆらぎの統計量を求め、これによってレーザー光照射の影響を調べることとした。即ち、レーザー光の照射前2分間 (領域I), 照射中前

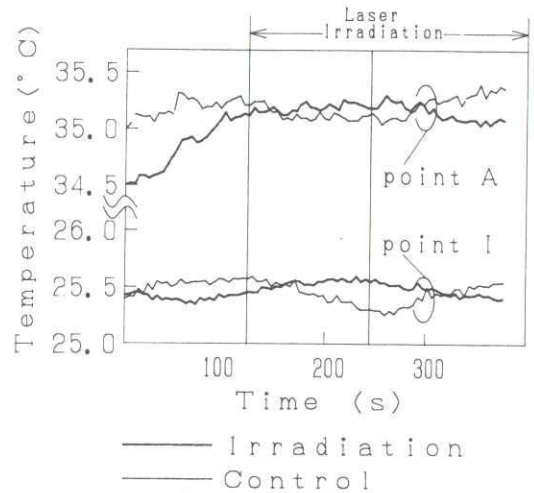


Fig. 3 Measured temperatures at specified point A of the right hand-back (Subject A).

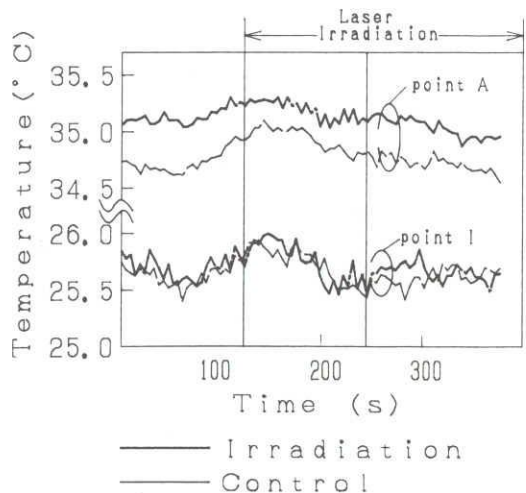


Fig. 4 Measured temperatures at specified point A of the right hand-back (Subject B).

2分間(領域II),照射中の後の2分間(領域III)の三つの時間領域に分け,各領域毎の温度ゆらぎの自己相関関数をつぎのように計算した。まず,装置の計測誤差を除くために手背温度から室温を引いた偏差を解析の対象とする。そのとき,時刻 t の皮膚温度を $T_s(t)$,室内温度を $T_r(t)$ とすれば,測定時間 T における温度ゆらぎのラグ τ の自己相関関数 $R_{xx}(\tau)$ は,

$$R_{xx}(\tau) = E \left[\left(\frac{1}{T} \int_0^T \{ T_s(t) - T_r(t) \} \cdot \{ T_s(t+\tau) - T_r(t+\tau) \} dt \right) \right] \quad (1)$$

で与えられる。ここに, $E[\cdot]$ は T 内での期待演算を表わす。但し,本実験においては皮膚温度や室温を4秒毎に測定したので, $R_{xx}(\tau)$ の計算に際しては式(1)を離散化し, $T=120$ s内での27個の測定データを用いて $R_{xx}(\tau)$ を求めた。図5,6は温度変化の自己相関関数の計算例を照射群と対照群とを比較して示す。但し,縦軸

は平均パワ $R_{xx}(0)$ で規格化している。図5から, R_{xx} の波形は対照群においては領域毎であまり変わらないのに対し,照射群では領域IIとIIIの立下がり波形が領域Iのそれに比べて急峻になっていること,IIの場合よりもIIIの立下がりラグのほう小さいこと,その程度は連続照射の場合よりもパルス照射のほうが著しいこと,などがわかる。このことは,被験者Aでは手背の温度ゆらぎがレーザー照射で直ちに促進され,ゆらぎのランダム性が時間の経過と共に強くなっていくことを意味する。図6からは,対照群における R_{xx} の波形は図5の場合と同じく領域毎であまり変わらないこと,照射群ではIとIIの波形はあまり変わらないのに対してIIIの立下がりラグが小さくなっていること,その程度は図5の場合とは異なりパルス照射のときより低電力の連続照射のほうが著しいこと,などが知られる。このことは,被験者Bでは温度ゆらぎのレーザー照射による促進効果が被験者Aの場合と比較して遅く発現していることを意味する。つぎに,低エネルギーレーザー光の生体刺激効果の定量化を試

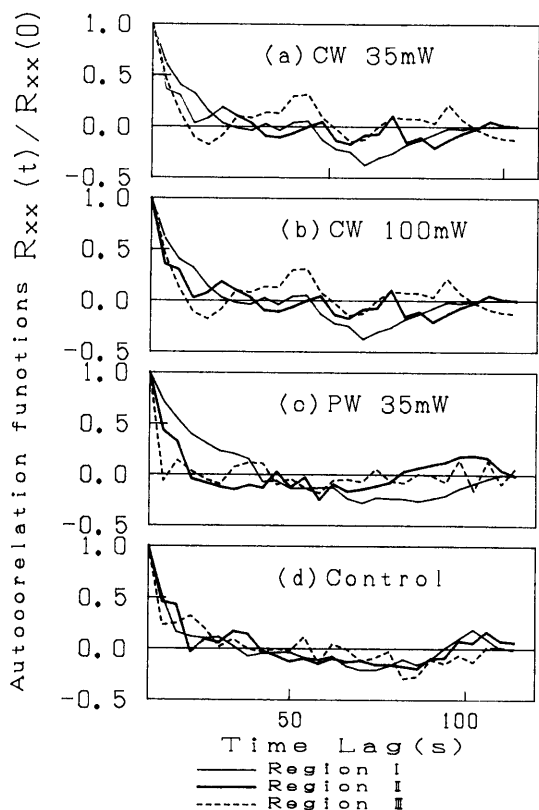


Fig. 5 Calculated auto-correlation functions of the temperature fluctuations at the specified point A on the right hand-back (Subject A).

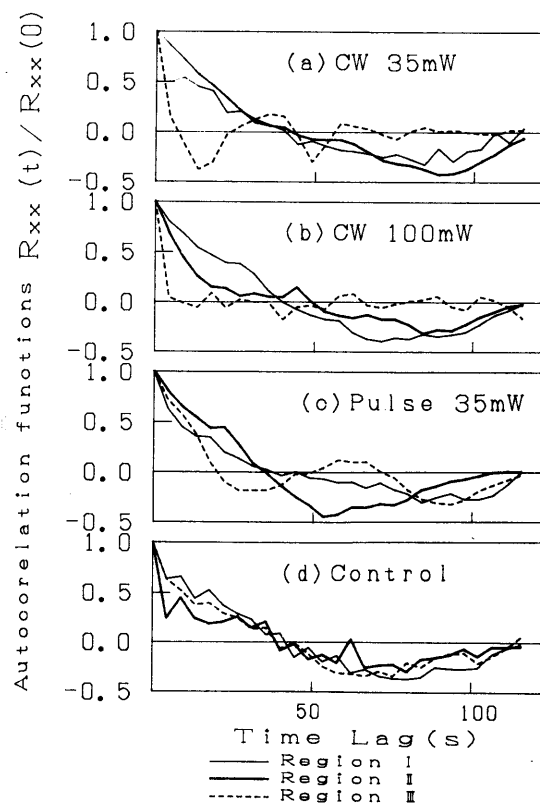


Fig. 6 Calculated auto-correlation functions of the temperature fluctuations at the specified point A on the right hand-back (Subject B).

Table 2 Estimated values of parameters.

Subject Region	$R_{xx}(0)$				
	(Irradiation)/(Control)				
A	I	0.039/0.055	0.0563/0.844	1.43/0.288	0.992/0.909
	II	0.016/0.0067	0.258/0.803	0.725/0.246	0.913/0.920
	III	0.039/0.0050	0.332/0.945	0.946/0.255	0.985/0.540
B	I	0.0127/0.0103	0.0593/0.203	0.922/0.482	0.994/0.814
	II	0.0173/0.0192	0.0852/0.169	1.09/0.796	0.993/0.970
	III	0.0211/0.0102	0.173/0.197	0.826/0.597	0.943/0.975

* $R_{xx}(\tau) = R_{xx}(0) \cdot \exp(-\alpha\tau^\beta)$
 $\gamma = \text{correlation coefficient}$

みる。まず、温度ゆらぎの自己相関関数 $R_{xx}(\tau)$ を

$$R_{xx}(\tau) = R_{xx}(0) \cdot \exp(-\alpha\tau^\beta) \quad (2)$$

と近似し、これを図5、6に当てはめて式(2)のパラメータを推定する。ここで、 $R_{xx}(0)$ は温度ゆらぎの平均パワ、 α と β は波形の立下がりの程度を表すパラメータである。図5、6の立下がり波形に式(2)を最小二乗法で当てはめて推定した平均パワとパラメータの数値を表2に示す。但し、式(2)のパラメータ推定は $\tau=20s$ の範囲で行なった。表によると、対照群の α は3領域ともあまり変わらないのに対して、照射群の α は時間の経過と共に確実に増大していることがわかる。また、 β については領域による特定の傾向は認められないが、被験者A、Bとも β の値は照射群のほうが対照群よりも大きい。以上の結果は、手背温度のゆらぎがレーザー光照射で促進されること、ゆらぎの統計的性質が時々刻々と変わっていくこと、などを裏付けるものである。なお、 $R_{xx}(0)$ については、レーザー光照射による共通の傾向は認められず、この理由は現時点においては不明である。

4. む す び

低エネルギーレーザー光の神経刺激作用は効果の発現機序が不明ではあるものの、これを利用する光治療は臨床面で極めて盛んである。本実験は、低エネルギーレーザー光の効果的治療条件の確立を目的として、被験者指先にYAGレーザー光を照射した場合の手背皮膚温度の経時変動をサーモグラフ装置で測定した。この結果、手背皮膚温度は時間と共に絶えずゆらぎながら変動していること、低エネルギーレーザー光照射で温度ゆらぎが促進されること、ゆらぎの程度はレーザー光の照射条件で異なること、などが判明した。

本実験では低エネルギーレーザー光照射による手背温度のゆらぎをレーザー光の照射条件との関係において調べたが、両者の定量関係を把握するには至らなかった。更に多くの被験者に対して実験を繰り返すこと、照射効果の定量化に結びつくデータの処理方法を検討すること、などが今後に残された課題である。

謝 辞

本実験の遂行に際しては明治鍼灸大学教授神川喜代男先生並びに同助手田和宗徳先生に測定装置の便宜をお計り頂いた。両先生に厚く感謝いたします。また、実験に協力頂いた本学電気情報工学科卒研究生内藤剛(現在、アイシン精機機動務)並びに東浜弘忠(現在、本学大学院博士前期課程在学)の両君にお礼申し上げる次第である。

文 献

- 1) 渥美・田口・神川・大城・劔物：“持田製薬座談会：低出力レーザーの医療への応用”，pp. 8-10 (1988).
- 2) 大西・神川：“医学のあゆみ”，124, 5, pp. 589-594 (昭58-01).
- 3) 神川喜代男：“オプトロニクス”，(1988) 6, pp. 99-104 (昭63-06).
- 4) 神川・田和：“日本臨牀”，45, 4, pp. 76-81(1987).
- 5) 神川・田和・香山・一見・中村：“低出力レーザー治療とサーモグラム”，6, 3, pp. 47-52 (1985).
- 6) 藤原・岡田・加藤・阿座上：“低エネルギーレーザー光による生体効果の実験的考察”，名古屋工業大学学報，38, pp. 171-176 (1986).
- 7) 岡田・藤原・加藤・阿座上：“低エネルギーレーザー光の蛋白質の構造ゆらぎに及ぼす影響”，レーザー研究，15, 1, pp. 38-43 (昭62-01).
- 8) 石川・藤原・加藤・阿座上：“Laser Acupunctureで生体組織内に生ずる熱応力の計算”，レーザー研究，16, 7, pp. 247-251 (昭63-07).
- 9) 竹本・内藤・藤原・加藤・阿座上・神川：“低エネルギーレーザー光の人体末梢循環に及ぼす影響について”，昭63東海連大，585.
- 10) 竹本・藤原・阿座上・神川：“低エネルギーレーザー光照射による生体刺激効果の一考察”，信学全大，B-294(1989).