

《総説》

低出力レーザー照射療法 (LLLT)

渡部 一郎* 眞野 行生*

Low Reactive Level Laser Therapy

Ichiro WATANABE,* Yukio MANO*

Abstract: A laser (light amplification of stimulated emission of radiation) is the artificial ray, which is monochromatic, coherent and directional. Laser light with wavelengths of between 600 and 1,300 nm is optimized the depth of penetration in human tissue and is therefore most commonly used in the clinical setting. Low reactive level laser therapy (LLLT), outputting laser light with less than 500 mW power, have been recommended for use in rehabilitation because there is some evidence that this form of electromagnetic energy may be biostimulative, facilitate healing and reduce pain. LLLT activates the electron transport chain, increases ATP synthesis, and therefore cause the macrophage, fibroblast and lymphocyte activity. Some studied that LLLT changed the nerve conduction and regeneration and induced vasodilation, particularly of the microcirculation. LLLT is clinically useful in wound healing, musculoskeletal disorders and pain management. The irradiation points are symptomatic pain area, motor points, ganglion, meridian point and so on. Especially irradiation to stellate ganglion and acupuncture points is safe and effective to reduce pain and to improve the peripheral circulation in human. It is difficult to make definitive recommendations for the clinical application of LLLT in rehabilitation, so that we have to study and reveal the mechanism of LLLT effects.

Key words: 低出力レーザー治療 (low reactive level laser therapy: LLLT), 疼痛管理 (pain management), 末梢循環 (peripheral blood flow), 星状神経節 (stellate ganglion), 鍼治療 (acupuncture therapy)

はじめに

現在, リハビリテーション (以下, リハ) の臨床の場で用いられている温熱物理療法は, ホットパック・パラフィン・温浴などの伝導性温熱療法と, 赤外線・マイクロウェーブなどの光線照射療法に分類される。最近ではこの光線照射療法に, レーザー照射療法が加えられ, 多くの臨床の場で除痛目的に用いられている。

レーザーは, 単色性, 直進性, 可干渉性, 高輝

性がよく, 熱作用, 光化学作用, 圧力作用, 電磁作用などがあり, さまざまな科学分野に応用される。医療の分野では, その熱作用を利用して, レーザーメスが外科治療や網膜治療において優れた実績をあげている。これは組織切開と同時に熱凝固による止血作用をもたらす切開創の組織損傷が少なく殺菌作用も併せ持つ。リハの物理療法として用いられるレーザー照射は低出力レーザー (Low reactive Level Laser Therapy: LLLT) であり, その機序については現在なお不明の点が多いが, 徐々に実際の臨床の場で用いられてきて

2001年2月7日受稿

*北海道大学医学部リハビリテーション科/〒060-8638 北海道札幌市北区北15条西7丁目
Department of Rehabilitation and Physical Medicine, Hokkaido University

いる。ここでは現在の低出力レーザー照射療法について概説する。

レーザー光の特徴

物質を構成する原子において、電子が外部エネルギーを受け高エネルギー準位の軌道に移り励起状態となり、その電子が元の軌道に戻る際に放出されるエネルギーが光線となったものがレーザー (Laser: light amplification of stimulated emission of radiation) と定義される¹⁾。歴史的には、1960年 Maiman がルビーレーザーの発振に成功したことにはじまる。レーザーは自然光と異なり、単色性 (波長が単一である)、直進性 (指向性がきわめて高い)、同位相性 (位相が同一、coherent)、高輝度性 (集光によりエネルギー密度を上げられる) などの特徴を有する。生体に照射すると、自然光と同様に反射・吸収され減衰しながら深部へ到達する。

半導体レーザーは、ガリウムと砒素 (GaAs) の化合物半導体を触媒として電流により発現され、小型・軽量で、制御も比較的容易に行える。わが国の医療用低出力レーザー照射装置の多くがこの原理により製造されている。この半導体レーザーの検討において 830 nm の波長のレーザーはヘモグロビンや水分に吸収されにくく生体深達度が高いことが示されている¹⁾。

レーザー強度は電力 (W)、電力密度 (W/cm²)、エネルギー密度 (J/cm²) で表される。

$$\begin{aligned} \text{電力密度 (W/cm}^2\text{)} &= \frac{\text{電力 (W)}}{\text{放射を受ける領域 (cm}^2\text{)}} \\ \text{エネルギー密度 (J/cm}^2\text{)} &= \frac{\text{電力 (W)} \times \text{時間 (s)}}{\text{放射を受ける領域 (cm}^2\text{)}} \end{aligned}$$

レーザーの分類²⁾

医療分野で用いられるレーザーは、高出力でその直進性と強力な熱作用を利用して切開・凝固に

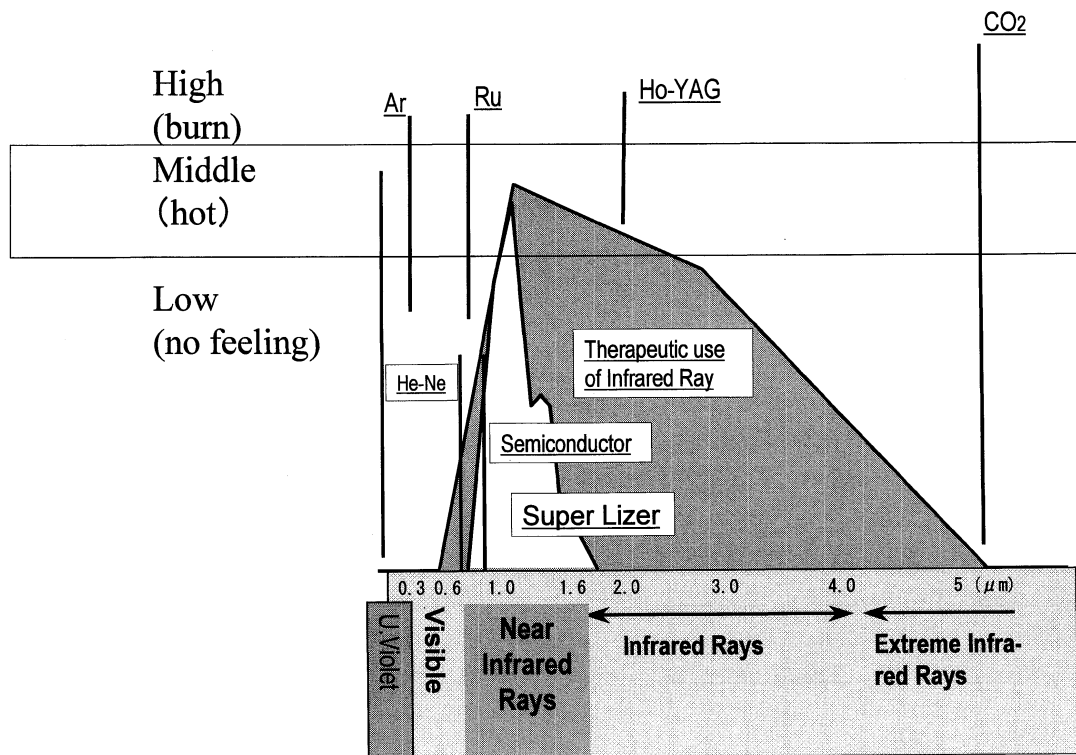


Fig. 1 Wave length of laser and infrared.

利用するもの〔炭酸ガス（レーザーメス）、アルゴンレーザー（網膜治療）など〕と、中間出力をもち比較的弱い熱作用によって血管吻合に利用するもの（Nd-YAG レーザーなど）、さらに低出力（He-Ne、半導体レーザーなど）で消炎・疼痛緩和に利用するものに分類される。リハ領域で疼痛緩和などに用いられるのは、出力がおよそ 500 mW, 50 mW/cm², 35 J/cm² 以下の低出力のものに限定される¹⁾。低出力レーザーは低反応レーザー、ソフトレーザー、コールドレーザーなどと表現されることもあるが、最近わが国では Low reactive Level Laser Therapy (Treatment) : LLLT の用語が一般的となっている。

直線偏光近赤外線照射器は、外観は低出力レーザー照射器と似るが、従来の半導体や He-Ne などのレーザーの代わりに赤外線灯スーパーアイオダインランプを光源として、光学フィルターを介して短波長成分である近赤外線 (0.6~1.6 μm) のみを選択的に照射する。この波長域は前述の生体深達度の高いレーザー波長域を含み、さらに自然光に含まれる一定な直線偏光、左楕円偏光、右楕円偏光の 3 偏光成分のうち直線偏光のみ出力する。これはレーザーの定義を満たさないが、波長・指向性・偏光性などの光学的特長が似ており、生体深達度が高く、低出力レーザーと同様の手法で疼痛緩和・創傷治癒など同様の効果が示されている³⁾。近赤外線照射は赤外線灯を光源とするため出力の点ではレーザーより有利で、LLLT が 60 mW 程度の低出力から臨床応用がなされてきたのに対し、近赤外線照射は 1,800 mW と高エネルギーを供給できる特徴を有する (Fig. 1)^{3,4)}。またこの近赤外線照射の有効性を踏まえ、LLLT の出力も以前より高められ使用されつつある。

低出力レーザーの生体への効果

低出力レーザーはその波長により生体深達度が異なるが、そのエネルギーのほとんどは皮下数 mm で吸収され、それ以下の深度にはエネルギーが到達しないことが計測されている¹⁾。吸収さ

れた光エネルギーが創傷治癒促進効果、鎮痛効果にいかにして作用するかは現在なお解明されていない。レーザーの特徴である単波長性、直進性、同位相性、高輝度性は生体内では拡散減衰するためその特徴の多くが失われてしまう。低出力レーザーといえども局所、特に細胞組織レベルではそのエネルギーの多くは温熱効果をもたらす。温熱作用以外のレーザー固有の生体作用があるかどうかさらに検討がすすめられている。位相性・単波長性でレーザーに類似する直線偏光近赤外線照射が、星状神経節照射などの交感神経ブロック様効果を示すが、一方では強力な白色キセノン光線を片側頸部に圧着照射することでレーザーと同様の交感神経ブロック様効果を認めるという報告⁵⁾もあり、位相性・単波長性光線の意義についてもなお検討が待たれている。

レーザー照射効果発現機序についての細胞学的・組織学的研究報告として以下のものがある。

1. 細胞学的作用

In vivo の培養細胞に対する低出力レーザー照射作用としては、電子伝達系の短時間の活性・ATP 合成増加・細胞内 pH の低下が示されている。レーザーが細胞膜 Ca イオンチャンネルでの反応を引き起こすことが示されている。これらの変化が起こりマクロファージ、線維芽細胞を増殖し、リンパ球を活性化するという^{6,7)}。

活性化細胞表面抗原マーカーである Class II (Ia) 抗原では、通常一部の細胞にしか発現しない。この抗原に注目したレーザー照射の検討では、正常リンパ球では変化しないが、病的に発現されている細胞群ではその Ia 抗原を減少させるという調整作用が報告されている⁸⁾。

2. 神経学的作用

神経の伝導と再生については、レーザーが神経伝導性を増加し、活動電位を増加し、感覚神経系の潜時を短縮し、神経組織が活性化することを示した。しかし別の研究では反対に、神経伝導性の低下・潜時の増加など神経系の活動性減少を示すという相反する結果が報告されている。条件をあ

わせた検討がさらに必要である^{9,10)}。

3. 血管拡張作用

血管拡張，特に微小循環系の血管拡張がレーザーにより誘発発現するという研究報告が多数存在する。サーモグラフィによる検討は非接触・非侵襲で，定量性・再現性に優れた方法として多く報告されている。疼痛緩和や組織治癒作用は，この血管拡張によりもたらされた酸素・栄養物の供給増加や疼痛原因物質・老廃物などの除去によると説明できる。

これは，*in vitro* の作用と考えるより局所侵害刺激に対する生体の神経系・内分泌系による調整作用である可能性が高い。疼痛の原因にかかわらず，一度疼痛が発現すると交感神経系の緊張により四肢末梢の血管収縮が起こる。この血管収縮は組織の虚血・温度低下を導き，発痛物質 (bradykinin など) を放出しさらに疼痛を増強させる。レーザーや温熱療法などはこれら末梢組織の血管拡張により疼痛の悪循環を絶つと考えられる (Fig. 2)。

4. 交感神経遮断作用 (星状神経節近傍照射)

星状神経節へのレーザー照射は，薬物による交感神経ブロックと同様の疼痛緩和・末梢循環改善効果を示され注目されている。レーザーが星状神経節の神経細胞や神経節組織に及ぼす直接的効果は解明されていないが，先の1~3節などの細胞・組織的機序により引き起こされる交感神経抑

制作用は，個体での局所性・全身性のレーザーの生理効果発現機序の根拠とされる。これらの交感神経ブロック作用はサーモグラフィの検討により定量的に再現性よく実証される。星状神経節照射療法による交感神経ブロック効果はその末梢領域の血管収縮を改善し，疼痛の悪循環を断ち，疼痛緩和を導き，これが全身性の交感神経過緊張の抑制に働き全身性の効果を表わすと考えられる。

薬物注入による従来の交感神経ブロックでは禁忌とされる両側治療は，照射療法の場合は反回神経・横隔神経の損傷もなく安全に施行できる。薬物注入従来法では片側局在 (C₆, C₇ など) 所見や発汗異常，Horner 徴候がよく起きるのに対し，星状神経節照射では反対側の上肢・下肢にも多少の効果がみられる両側作用性，発汗異常や Horner 徴候が現われにくく，光線療法は単なる (弱い) 交感神経ブロックではないとする報告もある³⁾。

星状神経節照射では，膠原病患者などの末梢循環不全患者では照射側末梢循環を改善するが，健常人ではその改善効果は顕著でない場合が多い。これは健常人の指尖部では動静脈シャントや毛細血管網が発達しており，常に十分な血流が確保されているためと思われる。健常人のサーモグラフィでは，手背部や前腕が室温に左右され 25°C 前後の皮膚温を呈するのに対し，その遠位・末梢である手指尖部温度は 32°C 前後と高い皮膚温が観察される。この状態に何らかの血流改善療法を施行しても，それ以上の皮膚温上昇は起こりにくい。そこで健常人両手に冷水負荷などのストレスを与え交感神経緊張状態として星状神経節照射を施行すると，交感神経ブロック効果により照射側の皮膚温上昇効果が明らかとされる (Fig. 3)¹¹⁾。

照射療法は星状神経節近傍の循環を改善し，交感神経過緊張状態において交感神経機能を抑制し交感神経機能を正常化する調整作用とする意見もある³⁾。

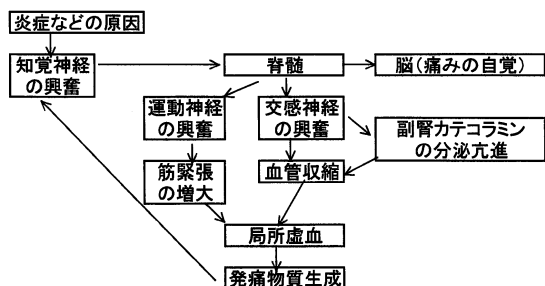


Fig. 2 Network of pain.

侵害刺激が脊髄性の反射にて自律神経 (交感神経) を興奮させ，血管収縮，組織の虚血，発痛物質発生を続発させ悪循環が成立する。

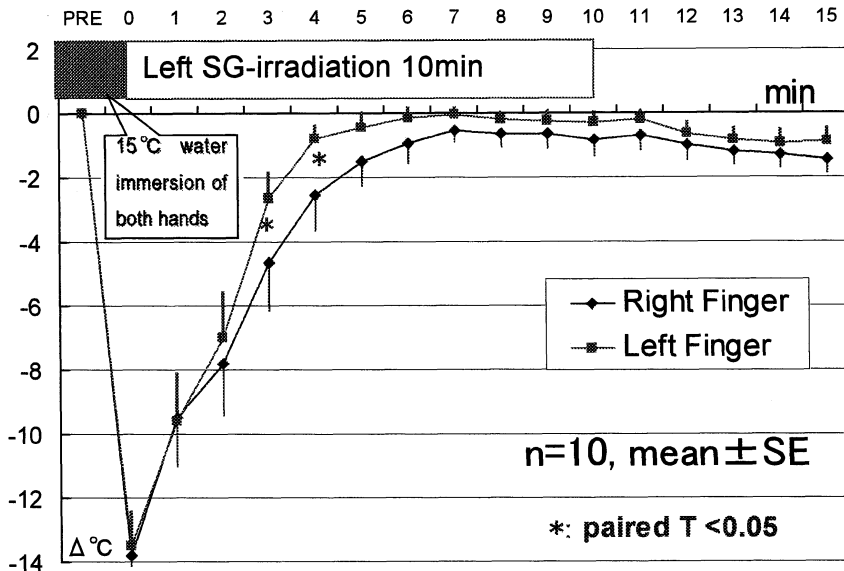


Fig. 3 Temperature of fingers after cold water immersion & SG irradiation. 恒温室 (25°C 50%) で 10 人の健康人に、両手 3 分間 15°C の冷水浸水負荷試験を施行し、その直後から左側星状神経節照射を 10 分間施行した。この結果、照射(左)側の手指温が対(右)側より回復温度が高く、照射側では交感神経緊張状態を緩和し末梢血管拡張による皮膚温の改善がみられる。

低出力レーザーの臨床応用

わが国では 1987 年に厚生省 (現厚生労働省) が低出力レーザー装置製造認可を与え、1996 年より関節・筋肉における疼痛緩和、温熱効果に対して健康保険が適応されるようになった。しかし米国 FDA では、既報の細胞学的・動物実験学的成果が確定的ではなくコントロールスタディもなお不十分なものとして臨床使用は認めていない。さらに基礎的・臨床的検討が必要である。臨床研究としては以下の症状・疾患に対する効果が報告されている。

1. 創傷治癒

人間・動物の創傷治癒に関する研究において、低出力レーザー照射は創傷治癒の促進、創組織のコラーゲン量の増加が示されている。レーザーは好中球貪食能や線維芽細胞増殖を刺激し、コラーゲン合成 RNA を増加し、バクテリア増殖を抑制し、創傷治癒に有用であると報告された。しか

し、臨床適用のための治療指針の作成にはそれらの研究は未だ不十分なもので、さらに体系的な臨床検討が必要とされる。骨折に対する低出力レーザーの研究では、血腫の吸収・骨の再形成・血管の形成・マクロファージや線維芽細胞・軟骨の細胞活性など骨折治癒に有利な報告がある一方、否定的な報告もあり創傷治癒と同様に、基準の設定などの体系的研究が必要とされている¹²⁾。

リハ領域では、動脈硬化症などの四肢切断例において末梢循環不全が遷延し、断端訓練・義足歩行に際して苦慮する例が多い。薬物療法や訓練療法に加えて、レーザー照射療法は併用療法として有用と思われる¹³⁾。

2. 骨関節疾患

多くの骨関節筋疾患に関連した疼痛や障害に対して、低出力レーザー治療の有用性が報告されている。治療効果の良好な疾患は、肩関節周囲炎、腰痛性疾患、膝関節症などである。炎症を伴うリウマチ例でも有効例の報告は多い¹⁴⁻¹⁶⁾。抗炎症作用・疼痛減少作用などがその理由と考えられて

おり、炎症についてはサイトカインの関与が報告されている。活動性の高いリウマチ例で関節の腫張・熱感が強い例では、末梢循環を改善する温熱療法より寒冷療法が推奨されるが、温熱効果の少ない低出力レーザー照射の期待も高い。

3. 疼痛コントロール

多くの研究で低出力レーザーは、慢性疼痛、関節炎以外の骨関節筋に関連する疼痛を減じることが示されている。帯状疱疹後神経痛、筋収縮性頭痛、後頭神経痛にも有効である。リハでは痙縮のコントロールに対する有用性も報告されている¹⁷⁾。しかし、この分野についても薬物や他の温熱物理療法が併用されている場合が多く、評価法にも正確性・再現性などの問題が多く、照射部位や照射量などについても一定の見解が得られていない。

4. 星状神経節照射

交感神経ブロックは、頭頸部・上肢の難治性疼痛、末梢循環障害に対する治療法として、ペインクリニックで用いられる手法である。薬物注入法は熟練を要し、穿刺では組織の損傷、出血、薬物の血管内への混入などの危険性があり、また効果のコントロールが困難であった。また膠原病などの難治性末梢循環不全患者では、易感染性や出血傾向の合併症などで薬物による交感神経ブロックが困難な例もある。星状神経節への低出力レーザーの照射は肩手症候群や全身性の難治性疼痛にも有効な報告も多い¹⁸⁾。

照射法・照射部位

レーザーの波長・出力・時間・部位・方法など

についてはなお定められた方法はなく経験的に施行されているのが現状である。患者の自覚的疼痛部位・圧痛点・トリガーポイント・東洋医学の経穴などに照射される。照射部位を体系化した表を示す (Table 1)²⁾。以下に症候別の照射方法例を具体的に示す。

1. 肩関節周囲炎・腰痛・膝関節症

それぞれの圧痛点に半導体レーザーの 150 mW で 30~60 秒間、1,000 mW では 15~30 秒間照射する。圧痛点不明瞭でない場合は、関節間隙・傍脊柱管・経穴などに照射する。

2. 帯状疱疹後神経痛

罹患神経の傍脊柱部あるいは罹患神経の走行に沿って 2~5 cm の間隔で照射する。1 回あたりの照射時間は 150 mW で 20 分間、1,000 mW では 10 分間までとしている。星状神経節近傍照射では、生体深達度をさらに深めるようプローブを皮膚に圧着し十分に押し付けて星状神経節まで近づけて照射する¹⁹⁾。

3. 星状神経節照射

照射部位は薬物注入による星状神経節ブロックに準じ、施術者が総頸動脈を外側に寄せるよう避け、胸鎖乳突筋内側で第 7 頸椎椎体横突起をねらいプローブを皮膚に圧着して照射する (Fig. 4)。

機器の出力や照射間隔・照射時間などは機器のコントロールパネルで可能であるが、その照射方法は確立しておらず経験的に行われている。半導体レーザー (150 mW) では 5 分間、直線偏光近赤外線照射では星状神経節用照射プローブを用い、1,800 mW, 70%, 1 秒間照射 1~2 秒間休止の間欠照射 5~10 分間が一般的である。照射出

Table 1 Irradiation points of LLLT. (文献 2 より)

1. Symptomatic laser therapy : 患者の訴えによる疼痛部
2. Electrically significant point therapy : 皮膚上交流抵抗の少ない点, 圧痛点
3. Melzack point therapy : gate control theory に基づく脊髄神経の皮節と神経根節
4. Motor point therapy : 最大筋収縮を起こす運動神経軸索の密な部位
5. Connective tissue therapy : 筋膜・骨膜・腱・腱移行部
6. Meridian point therapy : 針灸の経絡

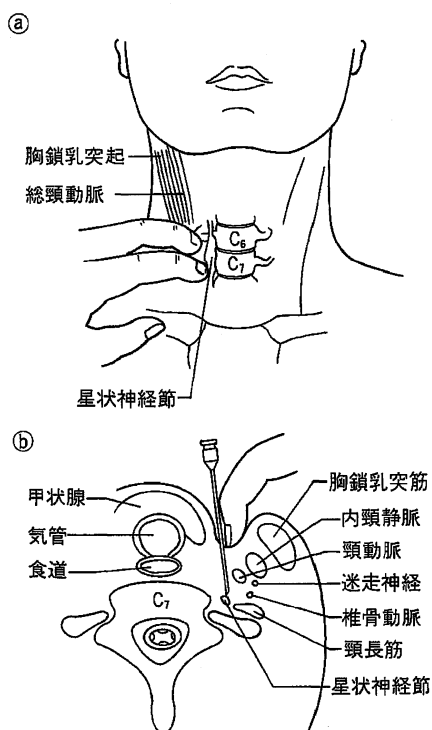


Fig. 4 Thermography of SL-SG irradiation.
a: 星状神経節の位置, b: 第7頸椎(C₇)での横断面図

力・時間を増加すると、特に直線偏光近赤外線照射ではプローブが接する皮膚に熱感や熱傷がみられ、事前に照射部の知覚(温覚)低下がないことに注意し、接触皮膚部をよく観察しながら施行する。

4. 経穴への照射

鍼治療は、東洋医学古典の記載による経穴に施術され、わが国では疼痛性疾患患者の治療に用いられている。しかしその効果発現機序には不明の点が多く病態学・生理学的な検討はなお少ない^{20,21)}。自験例を示すが、健康人の経穴・非経穴に鍼治療または近赤外線照射を行い四肢末梢皮膚温(指尖部温)の変化を二重盲検法で検討した。経穴として右手合谷(第1,2指間:WHO LI4)、外関(前腕伸側遠位部:WHO SJ5)の2点を同時刺激した。非経穴として右手非合谷(第2,3指間)、非外関(前腕伸側ほぼ中央)の2点を同時に刺激した。鍼治療には径0.25mmの鍼灸針(セイリン化成社製)を使用した。直線偏光

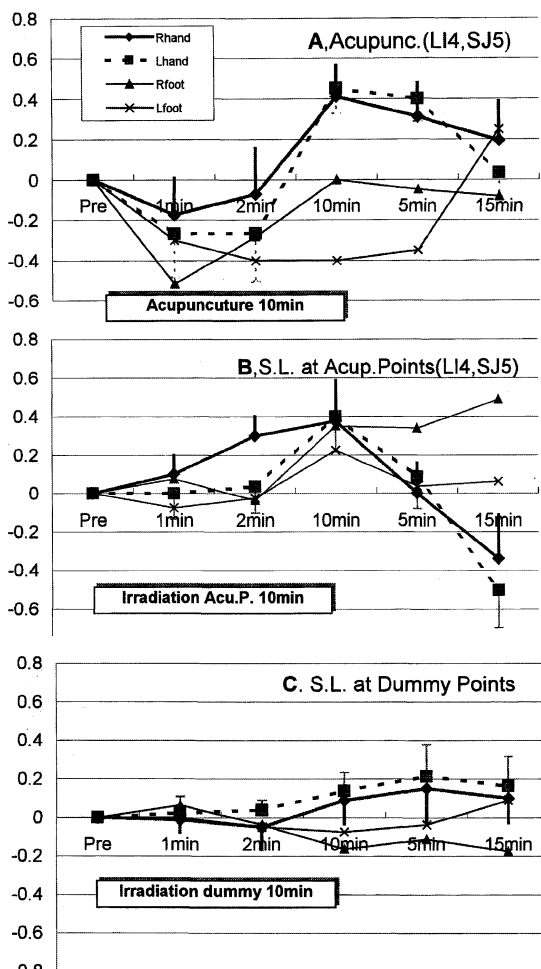


Fig. 5 Effect of the polarized infrared irradiation and needles at acupuncture points (LI 4, SJ 5) and two dummy points.

At acupuncture points (LI 4, SJ 5), needles (A) or SL (polarized infrared: B) irradiation increased the finger temperature.

近赤外線照射器を2台用意し、2カ所同時に皮膚に密着し強度70%、10分間間欠照射した。健康人の経穴鍼刺激では、穿刺直後1,2分では疼痛刺激による一過性の指尖部温度低下を認めしたが、照射10分後では $0.41 \pm 0.27^{\circ}\text{C}$ (平均 \pm 標準誤差)の明らかな指尖部温度上昇を示した(Fig. 5A)。非穿刺側手指、下肢でも同様の一過性温度低下後、全身性の温度上昇反応を示した。非経穴鍼刺激では穿刺後の温度低下は同様に認められた(図なし)。一方、経穴近赤外線照射では鍼穿刺直後の一過性指尖部温度低下は認めず、徐々に末梢皮

膚温が上昇し、照射10分後では鍼穿刺と同様 $0.41 \pm 0.15^\circ\text{C}$ の高値を示した。この温度上昇反応は、対側手指、両側足趾でも認められ、全身性の血流改善効果を示したが、照射終了後の効果持続時間は短かった (Fig. 5B)。非経穴照射ではこれらの反応が認められなかった (Fig. 5C)。この結果から、経穴への照射療法は鍼刺激と同様の末梢血管拡張効果を示し、交感神経系抑制作用と考えられた。鍼刺激では穿刺直後の一過性皮膚温低下は疼痛による交感神経緊張作用で起こり、過去の同種の報告でも同様であった。光線照射療法では無痛性のため皮膚温低下はなく、末梢循環改善のみ示され障害患者にとって好ましい治療と考えられる。光線療法で持続時間が短いのは、刺激 (投与エネルギー) 絶対量が少ないためか疼痛刺激による中枢性または一過性交感神経緊張状態が有用なのかは不明だが、今後投与エネルギー量を調節できる光線療法の利点を生かし検討をすすめたい。鍼治療の有用性は多く示されているが、疼痛への恐れを強く抱く患者や、ステロイド、ワーファリンなどの使用で易感染性、出血傾向患者では鍼治療は制限される⁹⁾。光線療法は、無痛性、非侵襲であり、鍼治療に似た臨床効果があるならば適応範囲がさらに広がる可能性がある。一方、鍼、LLLТ 照射の効果判定と治療部位決定、その機序を考える上で有用な方法であり、東洋医学研究にも非侵襲的なレーザーとサーモグラフィを用いた手法が有用な情報をもたらすと考えられる。

副作用・禁忌

現在の低出力レーザーはその低出力ゆえに文献的にも問題となる副作用はほとんど報告されていない。ただし近年開発される低出力レーザーは出力が高められつつあり、照射部位・出力次第では照射部皮膚に熱感・発赤・紅斑・火傷を起こしうる。低出力レーザーを深部に照射するためにはプローブを皮膚に圧着して施行するため、皮膚の同一部位に当てる場合は、十分観察し火傷を予防する必要がある。

目については、低出力レーザーといえども十分に注意すべきである。特に可視光以外のレーザー・赤外線では直接の網膜への照射を避けるとともに、照射部皮膚からの反射を避けるための手段を講じなければならない。被験者にはゴーグルなどの着用が望ましい。

放射線療法後の患部、出血部にも、レーザー照射は血管拡張作用があるため使用は慎重にされるべきである。またレーザー照射の効果が解明されていないため、性腺・内分泌系への照射も避けるべきであろう。

最後に

現段階の臨床的なレーザー治療の位置付けは、侵襲の少ない治療法として期待されるが、単独治療に用いるには効果が十分ではなく、他の薬物療法・リハビリ治療の補助療法・併用療法と考えられる。

一方、レーザー治療も他のリハビリ治療・物理療法と同様に実践が先行し普及してきた。近年のリハビリ医学において EBM (Evidence-Based Medicine) たる臨床研究報告が必要である。この観点からレーザー治療について照射部位・時間など手法を統一した上での集学的研究が必要である。この領域はなお基礎・臨床研究のテーマが多く残されており諸氏の研究に期待する。

文 献

- 1) Cameron MH, Perez D, Otano-Lata S: Lasers. in Physical Agents in Rehabilitation from Research to Practice (ed by Cameron MH). WB Saunders Company, California, 2000; pp 316-321
- 2) 田口順子: レーザー療法. 物理療法マニュアル (嶋田里明, 田口順子, 濱出茂治, 深町秀彦, 藤原孝之, 柳沢健, 山崎節子 編). 医歯薬出版, 東京, 1997; pp 100-110
- 3) 小川節郎: Super Lizer. 医器学 1998; 68: 567-572
- 4) Yoo C, Kemmotsu O: Efficacy of polarized light therapy for musculoskeletal pain. Laser Therapy 1993; 5: 153-157
- 5) 堀 享一, 小林 巧, 坂上征彦, 菊本東陽, 由利 真, 姜貴雲, 渡部一郎, 眞野行生: 星状神経節近傍に対するキセノン光照射の効果. 北海道理学療法 2001; 18: 46-50
- 6) Trelles MA, Myanyo E, Miro L: The action of low reactive laser therapy on mast cells. Laser Therapy

- 1989; **1**: 27-30
- 7) Lam TS, Abergel RP, Castel JC: Laser stimulation of collagen synthesis in human skin fibroblast cultures. *Laser Life Sci* 1986; **1**: 61-77
 - 8) 森田秀樹: レーザーの生体への影響. 図説半導体レーザーと痛みの治療 (剣持 修 編). メディカルビュー社, 東京, 1996; pp 24-32
 - 9) Snyder-Mackler L, Crok C: Effect of helium neon laser irradiation on peripheral sensory nerve latency. *Phys Therapy* 1988; **68**: 223-225
 - 10) Jarvis D, Maclever MB, Tanelian DL: Electrophysiologic recording and thermodynamic modeling demonstrate that helium-neon laser irradiation does not affect peripheral A-delta or C-fiber nociceptors. *Pain* 1990; **43**: 235-242
 - 11) 渡部一郎: 星状神経節光線療法の効果判定とサーモグラフィ. *Biomed Thermol* 1998; **18**: 133-137
 - 12) Cambier DC, Vanderstraeten GG, Mussenn MJ: Low power laser and healing of burns: a preliminary assay. *Plast Reconstr Surg* 1996; **97**: 555-558
 - 13) 憲 克彦, 渡部一郎, 奥田智紀, 中馬孝容, 菅田忠夫, 眞野行生: 直線偏光近赤外線照射が大腿切断後の血行障害に有効であった全身性エリテマトーデスの一例. *北海道リハ学会誌* 1999; **27**: 93-97
 - 14) Brosseau L, Welch V, Wells G, Tugwell P, de Bie R, Gam A, Harman K, Shea B, Morin M: Low level laser therapy for osteoarthritis and rheumatoid arthritis: a metaanalysis. *J Rheumatol* 2000; **27**: 1961-1969
 - 15) Fulga C: Antiinflammatory effect of laser therapy in rheumatoid arthritis. *J Intern Med* 1998; **36**: 273-279
 - 16) Basford JR, Sheffield CG, Harmsen WS: Laser therapy: a randomized, controlled trial of the effects of low-intensity Nd:YAG laser irradiation on musculoskeletal back pain. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; **80**: 647-652
 - 17) 原田 孝: リハビリテーションにおけるレーザーの役割. 第11回日本レーザー治療学会抄録集, 1999
 - 18) 藤島一郎, 塩浦政男: 直線偏光近赤外線星状神経節近傍照射-肩手症候群に対する効果. 第12回日本レーザー医学会総会抄録集, 1991
 - 19) 剣持 修, 大塚浩司: レーザーによる疼痛緩和. *医学のあゆみ* 2000; **195**: 717-719
 - 20) 森 英俊, 西條一止: 疼痛, 不定愁訴に対する針灸療法の効果とサーモグラフィ. *Biomed Thermol* 1998; **17**: 133-135
 - 21) 粕谷大智, 杉田正道, 白坂 昭, 坂井友実, 磯部八郎, 松多邦雄, 宮本昭正: サーモグラフィによる腰部脊柱管狭窄症に対する鍼治療の臨床的研究. *Biomed Thermol* 1989; **9**: 200-203