低出力レーザーおよび直線偏光近赤外線直接照射の 皮膚微小循環に対する効果

小 森 万 希 子

東京女子医科大学東医療センター麻酔科

(受付：平成 20 年 1 月 29 日，受理：平成 20 年 2 月 24 日)

Effects of Irradiation Therapy by Low-power Laser or Linearly-polarized Near-infrared Light on the Skin Microcirculation

Makiko KOMORI

Department of Anesthesiology, Medical Center East, Tokyo Women's Medical University

(Received: January 29, 2008, Accepted for Publication: February 24, 2008)

Abstract: Treatment regimens used in pain clinics include oral drugs, nerve blocks, and physical therapy. Recently, phototherapy, a noninvasive treatment with minimal side effects, has been used for pain management in elderly patients in whom nerve blocks cannot be performed because of concurrent disease. We used the rabbit ear chamber method under direct vision to examine changes in the arteriolar microcirculation after phototherapy. Low-power laser light (laser group) and linearly polarized near-infrared light (near-infrared group) were used to measure the luminal diameter, blood-flow velocity, and blood volume of the arterioles. As compared with the values before treatment (100%), the arteriolar diameter increased to $101.9\% \pm 5.9\%$ in the control group, $130.1\% \pm 10.4\%$ in the laser group, and $125.2\% \pm 16.9\%$ in the near-infrared group. These increases in both the laser and near-infrared groups were significant as compared with the control value ($p < 0.05$). Blood-flow velocity increased from a baseline value of 100% to $101.3\% \pm 3.6\%$ in the control group, $126.3\% \pm 14.8\%$ in the laser group, and $129.1\% \pm 16.8\%$ in the near-infrared group. The increases in both the laser and near-infrared groups were significant as compared with that in the control group ($p < 0.05$). Arteriolar blood volume showed a similar trend, and significantly increased after phototherapy ($p < 0.05$). Phototherapy improved the microcirculation with minimal systemic and local side effects and can therefore be used as adjuvant therapy. Laser therapy is very often used in the field of pain management. Laser therapy alone or combined with other treatments such as nerve blocks and drug therapy has been shown to be effective. Previous basic research, including our study, has suggested that the mechanism by which laser therapy relieves pain involves factors such as the selective inhibition of peripheral-nerve conduction, relaxation of vascular smooth muscle, and arteriolar dilation due to the inhibition of sympathetic-nerve activity. In addition to relieving pain, laser therapy can reduce inflammation and promote wound healing. We describe our findings and the clinical usefulness of laser therapy in the field of pain management.

(J. Jpn. Soc. Laser Dent. 19 : 26 ~ 29, 2008 Reprint requests to Dr. KOMORI)

Key words = Linearly-polarized Near-infrared Light, Low-power laser, Microcirculation, Pain clinic

キーワード=直線偏光近赤外線，低出力レーザー，微小循環，ペインクリニック

緒 言

痛みの治療は内服薬，神経ブロック，経皮的神経刺激，温浴，低周波，超音波，近赤外線，精神分析，電極埋め込み，手術療法など多彩であり，患者に合った治療を提供

できることが必要である。最近の高齢化に伴い，合併症を持つ患者に神経ブロックなどができない場合，非侵襲で副作用が少なく，即効性のある治療が望まれ，さらに衰えた生体機能や細胞の賦活する治療へと要求が高まっている。これらの要求に期待されているのがレーザー治療である。

またレーザー照射で創傷治癒が促進することも研究されている。

光線療法の効果のひとつとして、鎮痛作用に加えて微小循環改善作用がこれまで報告されている¹⁾が、直接末梢血管の変化をみた報告は少なく、定量性と客観性に乏しいといわれている。我々はレーザー照射による細動脈の血流の変化をウサギ耳透明窓 (Rabbit Ear Chamber: REC) 法²⁾を用いて直視下に観察した。REC 法は同一血管の径と赤血球の移動速度を生体顕微鏡的に観察することが可能な方法である。このためいろいろな刺激や薬物投与における血管径の反応を連続してリアルタイムに観察できる。これまで、我々は REC 法を用いて各種ショックモデル^{3,4)}、吸入酸素濃度の変化⁵⁾、動脈血二酸化炭素濃度の変化⁶⁾における微小循環の研究、そして創傷治癒における血管新生の過程を血管成長因子である塩基性線維芽細胞増殖因子 (basic fibroblast growth factor: bFGF) を用いて研究⁷⁾してきた。今回は低出力レーザー照射および直線偏光近赤外線照射の効果を検討したので、この研究成果およびペインクリニックでのレーザー照射の臨床応用について報告する。

実験方法

本研究は東京女子医科大学倫理委員会にて承認を得た。耳介に浅野ら²⁾の方法によりアクリル樹脂製耳透明窓 (rabbit ear chamber, 以下 REC) を装着した体重 3-4kg の日本白色種ウサギの雄 27 羽を用いて、REC 装着 6 週間後に REC に再生された微小血管の循環動態を観察した。REC を生体顕微鏡下に固定して、1/10,000 秒のシャッター速度の顕微鏡用ビデオカメラ (ソニー DXC750, 東京) で記録、観察した。ウサギにペントバルビタール 30mg/kg を静注後、気管内挿管をし、自発呼吸で維持した。対象を無作為に低出力レーザー照射群 (レーザー群, $n = 9$)、直線偏光近赤外線照射群 (近赤外線群, $n = 9$) と擬似照射群 (対照群, $n = 9$) に分けた。レーザー群の出力器は低出力ガリウム-アルミニウム-砒素半導体レーザー装置 (FLAT10 日本赤外線工業, 東京) を用いた。波長は 830nm, 出力は最高 100mW で接触型レーザーであり、プローブが皮膚に接触中に照射が行われる。近赤外線群は直線偏光近赤外線機器 (Super Lizer HA-30, 東京医研究社, 東京) を使用した。この照射器はスーパーアイオダイナ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の近赤外線 (600 ~ 1,600nm) のみを取り出して照射する。近赤外線は通常赤外線 (遠赤外線を含む) の中でも生体深達度が高い。光源が赤外線灯であるので 1,800mW と高エネルギーを供給できる特徴を有する。対照群は Super Lizer と同じ外見の擬似装置で接触型プローブを用いた。対照として擬似装置を用いた理由は、接触するレンズユニットの形態から触圧刺激も関与する可能性がある。触圧の物理刺激によって末梢

循環に変動をきたすこともあり得るので、今回、光線療法の末梢循環に与える影響を評価するため擬似装置を用いた。レーザー群は 60mW 照射し、近赤外線群は 1,540mW

図 1 細動脈の血管径、血流速度、血流量の変化率
B: base line (照射前)

レーザー照射例

近赤外線照射例

擬似照射例

図2 観察した微小循環の例
矢印は細動脈。レーザー照射例と近赤外線照射例では細動脈の拡張がみられる。
擬似照射例では変化はみられていない。

で1秒照射、4秒停止を繰り返した。3群とも接触型プローブを使用してREC支配領域の動脈の根部に10分間照射した。照射前から処置後60分にわたり細動脈の血管径と血流速度を測定した。血流速度はビデオカメラの画面を1/60秒の速度で再生し、赤血球の移動距離を10点測定して平均値を求めた。血流量は血流速度と血管の断面積の積より算出した。有意差検定は、Student *t*-test および ANOVA 検定を用い有意水準は5%以下とした。

結 果

細動脈の血管径、血流速度および血流量の変化率を図1に示した。細動脈の血管径は照射前を100%とすると照射10分後、対照群では $101.9 \pm 5.9\%$ に対して、レーザー群は $130.1 \pm 10.4\%$ に、近赤外線群では $125.2 \pm 16.9\%$ となり、対照群に比べ有意に上昇した ($p < 0.05$)。血流速度は照射前を100%とすると照射10分後、対照群では $101.3 \pm 3.6\%$ に対して、レーザー群は $126.3 \pm 14.8\%$ に、近赤外線群では $129.1 \pm 16.8\%$ となり、対照群に比べ有意に上昇した ($p < 0.05$)。血流量は照射前を100%とすると照射10分後、対照群では $101.2 \pm 10.5\%$ に対して、レーザー群では $215.8 \pm 47.7\%$ に、近赤外線群では $206.2 \pm 66.3\%$ と

なり、対照群に比べ有意に上昇した ($p < 0.05$)。近赤外線群とレーザー群では有意差は認めなかった。観察した微小循環の例を図2に示した。近赤外線照射例とレーザー照射例では照射後に細動脈の拡張がみられ、擬似照射例では変化がみられなかった。

考 察

これまでのレーザー治療による末梢血流の変化をみた例は、Banzer ら⁸⁾ はレーザー針の刺激が末梢の組織酸素化の変化はないが、微小循環を改良することを示した。

Ihsan⁹⁾ はウサギの大腿動脈結紮モデルで、低出力レーザー治療により、組織病理学検査において毛細血管直径が増加し、線維芽細胞増殖因子 (FGF) の上昇を認めたと報告している。これらの報告はレーザー治療が血流を改善させる間接証明であるが、我々の研究は直視下で観察した直接証明である。

Maegawa ら¹⁾ はラットの腸間膜を用いてレーザー照射が微小循環に及ぼす影響について検討した。80%の血流増加の主な機序として血管平滑筋細胞膜の Ca^{2+} に影響を与え、細胞内 Ca^{2+} イオンが低下して平滑筋が弛緩すると報告している。さらに血管反応における一酸化窒素 (nitric

oxide; NO) の関与を調べる目的で NO 合成阻害薬の L-NAME 投与下にレーザー照射を行うと、細動脈径の拡張は認められず、NO がレーザー照射による血流増加の一因になっていることが示唆された。

レーザー照射は、ペインクリニック領域では非常によく用いられている治療手段である。神経ブロック療法や薬物療法などの治療法との併用あるいは適切な単独使用により良い効果が得られている。我々の研究も含めてこれまでの基礎的研究からレーザー治療による鎮痛作用の機序として、末梢神経の選択的興奮伝導抑制、血管に対しては血管平滑筋弛緩、交感神経抑制による細動脈の拡張などが考えられる^{10, 11)}。レーザー治療は鎮痛作用に加えて、抗炎症作用や創傷治癒促進作用がある¹²⁾。

ペインクリニックで用いる光線療法の対象疾患は、まず鎮痛、抗炎症作用としては関節痛（慢性関節リウマチ、変形性膝関節症、変形性股関節症）、炎症痛（腱鞘炎、肩関節周囲炎、肘関節炎、頸椎捻挫）、神経痛（三叉神経痛、坐骨神経痛、後頭神経痛、帯状疱疹後神経痛、肋間神経痛、腰痛症など）、筋肉痛、術後疼痛などがある。血流障害として、上肢、下肢の血流障害（閉塞性血栓性血管炎、閉塞性動脈硬化症）、創傷治癒促進作用としては創傷、手術創、褥瘡、難治性潰瘍などに用いられる。また、レーザーによる星状神経節近傍照射¹³⁾も臨床的にはよく行われている。星状神経節ブロックの適応としては頭部、顔面、頸部、上肢および前胸部の痛性疾患、顔面神経麻痺、顔面痙攣、突発性難聴、鼻アレルギー、網膜血管閉塞症などの無痛性疾患がある。星状神経節ブロックの合併症として全身痙攣（椎骨動脈への誤注入）、嘔声、嚥下困難、上肢の麻痺、血腫（総頸動脈穿刺）がある。星状神経節近傍照射の特徴と適応は、手技が容易、合併症がない、薬物アレルギーがない、恐怖心がないなどである。星状神経節近傍照射の適応は星状神経節ブロックの適応と同じだが、特に高齢者、年少者、抗凝固療法中の患者でよい適応である。

結 論

ウサギ耳介の透明窓法を用いて、細動脈の血流の変化を直視下に観察し、低出力レーザーおよび直線偏光近赤外線直接照射の効果を検討した。光線照射により細動脈の血管径、血流速度、血流量は上昇した。光線療法の臨床使用で疼痛、浮腫の軽減や関節の可動域の増大などに効果がある。本実験結果から、血管拡張による循環の促進により、

酸素供給の増加、発痛物質の除去をもたらし、鎮痛、筋緊張の緩和などが起こることが推測される。

本稿は、第19回日本レーザー歯学会総会（平成19年11月24日、横浜シンポジウム）において発表した内容の一部をまとめたものである。

また、本研究の一部は平成18、19年度文部科学省科学研究補助金（基盤研究C：課題番号18591727）によって行われた。

文 献

- 1) Maegawa Y, Itoh T, Hosokawa T, et al: Effects of near-infrared low-level laser irradiation on microcirculation. *Lasers Surg Med*, 27 : 427-437, 2000.
- 2) Asano M, Ohkubo C: Physiological and pathophysiological events of cutaneous microcirculation observed in the rabbit ear chamber. In: *Intravital Observation of Organ Microcirculation*. Tsuchiya M, Wayland H, Oda M, Ozaki I (eds). Amsterdam-Oxford-Princeton, 1983, Excerpta Medica, 31-48.
- 3) Komori M, Takada K, Tomizawa Y, et al: Urinary trypsin inhibitor improves peripheral microcirculation and bronchospasm associated with systemic anaphylaxis in rabbits in vivo. *Shock*, 20 : 189-194, 2003.
- 4) Komori M, Takada K, Tomizawa Y, et al: Effects of colloid resuscitation on peripheral microcirculation, hemodynamics, and colloidal osmotic pressure during acute severe hemorrhage in rabbits. *Shock*, 23 : 377-382, 2005.
- 5) Komori M, Takada K, Ozaki M: Effects of inspired oxygen concentration on peripheral microcirculation studied by the rabbit ear chamber method. *in vivo*, 15 : 303-308, 2001.
- 6) Komori M, Takada K, Tomizawa Y, et al: Permissive range of hypercapnia for improved peripheral microcirculation and cardiac output in rabbits. *Crit Care Med*, 35 : 2171-2175, 2007.
- 7) Komori M, Tomizawa Y, Takada K, et al: A single local application of recombinant human basic fibroblast growth factor accelerates initial angiogenesis during wound healing in rabbit ear chamber. *Anesth Analg*, 100 : 830-834, 2005.
- 8) Banzer W, Hübscher M, Seib M, et al: Short-time effects of laser needle stimulation on the peripheral microcirculation assessed by laser Doppler spectroscopy and near-infrared spectroscopy. *Photomed Laser Surg*, 24 : 575-580, 2006.
- 9) Ihsan FR: Low-level laser therapy accelerates collateral circulation and enhances microcirculation. *Photomed Laser Surg*, 23 : 289-294, 2005.
- 10) 細川豊史：低反応レベルレーザー。ペインクリニック, 26 : 662-670, 2005.
- 11) 佐伯 茂, 朝野宏子, 針谷 伸：低反応レベルレーザーによる痛み治療。ペインクリニック, 26 : 791-801, 2005.
- 12) 眞淵 敏：低出力レーザー療法。理学療法学, 32 : 262-264, 2005.
- 13) 吉田憲司：口腔領域における神経疾患への低出力レーザー治療。日医会誌, 28 : 77-83, 2007.