Nd:YAG レーザー照射後の創傷治癒 —皮膚微小循環系への影響—

Quantitative Studies on the Effect of Nd:YAG Laser Irradiation

加藤 麦夫, 深谷 昌彦
各務 和宏, 倉内 惇

Mugio KATO, Masahiko HUKAYA,
Kazuhiro KAKAMI and Jun KURAUCHI

愛知学院大学歯学部第1口腔外科学教室

Usually “total joule (J)” or “energy density (J/cm^2)” has been used as a unit expressing laser effect. However, there is virtually no data on the relationship between laser effect and constant total joule irradiation carried out under a set of certain conditions.

To obtain such basic data for laser irradiation, quantitative and successive studies were performed on the blood flow kinetics of microcirculation systems of skin wounds caused by Nd:YAG laser irradiation.

Male BALB/C mice (*Mus musculus*) were used as experimental animals. The skin surface on the back was irradiated by Nd:YAG laser. Under the following set of conditions: focus distance was 14.0 mm, total joules were at a constant 30J, the energy density was $30 \text{ J}/\text{cm}^2$. The joule curve (vertical line: output power; horizontal line: time) was determined by combining output power and irradiation time, and 6 points on this curve were selected.

The intravascular volume and extravascular plasma were measured using ^{51}Cr -labeled red blood cells and ^{125}I -labeled human serum albumin.

The present study showed that the effect on vital tissues irradiated by Nd:YAG laser varied under the different conditions at the 6 fixed points, even though the total joules were kept at a constant 30J. Accordingly, the unit “total joule” or “energy density” is inadequate for expressing laser effect. The results of this study also suggest that laser power (watt) tolerance by tissues exists.

医用レーザーを使用する場合、そのレーザーの生体への影響を表現する単位として一般的には total joule あるいは energy density が用いられている^{1,2)}。しかし、同一 joule でも出力と照射時間の関係から生体への影響は必ずしも同じであるとは考えられない。ところがこのような考え方からの基礎的研究はみられない。

Fig. 1. The Joule Curve: The relationship between the laser output power (watt) and the irradiated time (second). The curve represents the combinations of watts and seconds, when the total energy (joule) is a constant 30J.

Fig.1 は Joule 曲線を示している。縦軸は照射出力を Watt で、横軸は照射時間を Second で表している。著者らは総エネルギー量を 30J に固定し、この曲線上に求められる出力と照射時間を組合せ、照射条件を設定し、各 point の条件で生体への影響を考えることにした。レーザーによる組織障害と回復に対する効果の観点から影響を明らかにすることを試み、観察方法としてレーザー照射後の微小循環の血流動態を局所の赤血球とアルブミンの量的変化により検索した。

実験装置並びに実験方法

レーザー装置は SLT. JAPAN 社製 Nd:YAG CONTACT LASER CL-50 を、ハンドピースは SLT. JAPAN 社製 SSRH-10 を使用した。

BALB/C 白色マウスの 6~8 週齢を用い、その背部皮膚を照射前日に予め剃毛し、左側に照

射した。対照は剃毛処置のみで、レーザー照射をしていないものとした。

照射条件は group 1: 2 W×15.0 秒, group 2: 3 W×10.0 秒, group 3: 5 W×6.0 秒, group 4: 6 W×5.0 秒, group 5: 10 W×3.0 秒, group 6: 15 W×2.0 秒の 6 群で、すべて total energy は 30J である。レーザー照射は非接触式で、照射距離 14 mm, 1 回の照射によって直径 3 mm の円形照射面を作ることができ、9 回の照射を行い約 1 cm² の正方形の照射面を作製した。なお、レーザー照射に際しては先端より 14 mm での出力が設定した各々の値であることを OPHIR OPTICS 社製レーザーパワーモニター 30A-P を用いて確認した。

試料採取は照射後、2 時間、6 時間、12 時間、1 日、2 日、4 日、7 日、14 日、21 日、28 日目に行った。各々心臓穿刺により 0.2 ml 採血した後、背部皮膚を Fig. 2 に示すようにレーザー照射部を区域 I、隣接部を区域 II、周辺部を区域 III と分けて採取し、周辺組織への影響を観察した。

Fig. 2. The three areas that were picked after laser irradiation, Area I: laser irradiated region, Area II・III: adjacent regions (unirradiated areas)

背部皮膚微小循環の観察方法は Song ら³⁾ の考案した血管内腔容積・血管外滲出プラズマ量同時測定法を用いた。すなわち ⁵¹Cr 標識赤血球 (125 μ Ci) と ¹²⁵I 標識ヒト血清アルブミン (20 μ Ci) 混合溶液を測定各時期のそれぞれ 1 時間前にマウス尾静脈から注入し、血液と測定

対照部の皮膚を採取し、その中に含まれるラジオアイソトープを Aloka 社製ウェル・シンチレーションカウンター UNIVERSAL SCALAR MODEL TDC-501 にて測定した。測定値は対照を 1 として INDEX で表した。

結果ならびに考察

対照の血管内腔容積は 0.0041 ± 0.0014 ml/g であった。この値を血管内腔容積の正常値とした。Fig 3~8 はレーザー照射後の血管内腔容積に対する効果の実験各群における経時的な変動をグラフに表したものである。

また対照の血管外滲出プラズマ量は 0.015 ± 0.004 ml/g/hr であった。この値を血管外滲出プラズマ量の正常値とした。Fig. 9~14 はレーザー照射後の血管外滲出プラズマ量に対する効果の実験各群における経時的な変動をグラフに表したものである。

微小循環の変化を知るために血管内腔容積と血管外滲出プラズマ量の関係を調べることは重要であると思われる。微小循環がレーザー照射より受けた損傷と回復を逐日的にしかもその量的変化を表すことができる。2 W×15.0 秒群では微小循環系に変化はなく、レーザーの影響は認められなかった。3 W×10.0 秒群では微小循環系に変化は生じるが、血管内腔容積は 2 日目に、血管外滲出プラズマ量は 7 日目に正常化しており、これは血管の変化は一過性であり、レーザーによる刺激効果であるといえる。これに対し 5 W×6.0 秒群と 6 W×5.0 秒群での血管内腔容積の 2 日目までの変化は血管外滲出プラズマ量の増加を伴い、区域 I は一旦減少し、区域 II は増加していた。さらに 10 W×3.0 秒群と 15 W×2.0 秒群では血管内腔容積は区域 I、区域 II ともに初期には低下し、そして血管外滲出プラズマ量も区域 I では低値であった。これは初期において微小循環が破壊された結果であり、後期に高値を示したのは回復過程とその後正常域に戻る治癒過程を示すものである。このことから同一 Joule でも単位時間当りの Watt の大きい方が組織の障害は大きく、回復も遅れることを示していると思われる、本実験における Nd:YAG レーザーの影響は Watt dependent であると考えられた。

Fig. 3~8. Time course of changes in vascular volume in skin of mice after laser irradiation, expressed as relative value to the control. Each point is an average of 3 determinations and the bars are 1 SD. The two parallel lines show 1 SD of 10 determinations of the control group.

Fig. 9~14. Time course of changes in vascular permeability in skin of mice after laser irradiation, expressed as relative value to the control. Each point is an average of 3 determinations and the bars are 1 SD. The two parallel lines show 1 SD of 10 determinations of the control group.

また 3 W×10.0 秒の条件を境にして血管が器質的に変化を受けるのではないかと考えられる。このことから微小循環系の耐レーザーパワー（ある一定のパワーを境にして組織が器質的に変化をする、いわゆる組織の臨界パワーと考える）という概念も成立すると思われた。

さらに従来、レーザー照射を行う場合にレーザーの持つ energy と照射によって被照射体に生ずる変化の大きさを表現する単位として total joule (J) あるいは energy density (J/cm²) が用いられている。しかし本実験の“ジュール曲線”で表されるように、同じエネルギー量 (J) であっても出力と時間の組合せが異なれば生体の受ける変化も大きく異なることが本実験により確認された。したがって総エネルギー量によりレーザーの影響を考察することは不適當ではないかと思われた。

参考文献

- 1) Y. Furuuchi: Experimental studied on the effect of low energy CO₂ laser on wound healing —The effect on the healing of full thickness skin defect—. J. J. oral and maxillofacial surgery. 33(1): 53-65, 1987. (in Japanese)
- 2) M. Ohyama, K. Katsuda, T. Nobori, M. Yamamoto, S. Furuta, M. Hashimoto and N. Daikuzono: Treatment of Head and Neck Tumors by Contact Nd-YAG Laser Surgery, Auris. Nasus. Larynx (Tokyo). 2(Suppl. II): 138-142, 1985.
- 3) C. W. Song and Seymourh, L.: Quantitative Study of Vascularity in Walker Carcinoma 256, Cancer Research. 31: 587-589, 1971.