

Er : YAG レーザーによる実験的インプラント窩形成の可能性

川口 和子¹⁾ 山内 大典²⁾ 渡辺 孝夫²⁾ 佐藤 淳一¹⁾

An Experimental Study of Er : YAG Laser for Implant Hole Preparation

KAWAGUCHI Kazuko¹⁾, YAMAUCHI Daisuke²⁾, WATANABE Takao²⁾ and SATO Junichi¹⁾

Purpose : Implant hole preparation using conventional drilling instruments is sometimes unsatisfactory due to the need to apply undue pressure. A recent study reported that an Er : YAG laser proved better with little constraint on the positioning of the laser tip. There have been reports on histological evaluation of osseointegration in comparable sites prepared with an Er : YAG laser and with traditional drills. The aim of this study was to assess the feasibility of an Er : YAG laser (Lite Touch™, Syneron, Israel) and its effectiveness by comparing laser exposure time with depth of bone hole in an experiment using the mandible of a beagle dog.

Materials and methods : A postmenopausal beagle dog was used. The laser was irradiated at three sites of the buccal bone surface of the mandible. Point A : a site over the mandibular canal ; point B : the corresponding site under the mandibular canal ; and point C : the buccal bone surface at the inferior margin of the mandible. The irradiation output was 8.4 W (700 mJ × 12 Hz) on the chip. The volume of spraying water was about 30 mL/min. The sapphire laser tip was 19 mm by 1.3 mm. The exposure time at points A and B was 5 sec and that at point C was 1, 2, 3, 5 and 10 sec (n=5).

Results and discussion : The average depth of bone

hole made by 5-sec laser irradiation at points A and B was 4.7 ± 1.4 mm and 5.6 ± 0.4 mm, respectively. It was surmised that at both points the drilling speed was 1.4 or 1.5 mm/sec for the first 3 sec through cortical bone, increasing to 1.8 mm/sec through cancellous bone. At point C, the speed increased gradually with an average of 0.7 ± 0.1 mm at 1 sec, 1.0 ± 0.1 mm at 2 sec, and 1.5 ± 0.2 mm at 3 sec (with a 3-sec average speed of 0.5 mm/sec). The average speed at 5 sec and 10 sec was 1.7 ± 0.2 mm and 1.6 ± 0.1 mm, respectively. The nature of cortical bone seems to prevent the speed from increasing.

Conclusion : The Er : YAG laser in the study required no pressure application, giving precise results with little constraint on the positioning of the laser tip. Bone holes were formed in a straight line. The preparation speed of a bone hole relative to laser irradiation time was slow and the depth seemed limited in cortical bone, whereas the speed increased through cancellous bone. The Er : YAG laser was shown to be useful for preparing implant holes with almost no technical constraints.

Key words : bone hole preparation, implant hole preparation, Er : YAG laser, dental implant

¹⁾ 鶴見大学歯学部口腔顎顔面インプラント科 (主任: 佐藤淳一准教授)

²⁾ 神奈川歯科大学人体構造学講座 (主任: 高橋常男教授)

¹⁾ Unit of Oral and Maxillofacial Implantology, Tsurumi University School of Dental Medicine (Chief : Associate Prof. SATO Jun-ichi)

²⁾ Department of Anatomy, Kanagawa Dental College (Chief : Prof. TAKAHASHI Tsuneo)

平成 21 年 7 月 31 日受付

緒言

現在、広く使われているインプラント窩形成のためのバーを用いた回転切削器具は、切削能力やコストパフォーマンスもよく周囲組織に対する損傷も少ない。しかし、抜歯即時埋入や傾斜埋入時では回転切削器具先端が抵抗の少ないほうへ移動し、正確な形成ができないことがある。近年、硬組織に対して用いられるEr:YAGやEr,Cr:YSGGなどのレーザーで、インプラント埋入および骨ブロック固定用スクリューのための骨穿孔を試みる報告がみられるようになった¹⁻⁶⁾。Er:YAGレーザーで形成したインプラント窩に埋入したインプラントの骨統合が、従来の回転切削器具による骨穿孔に比較し、組織学的に差がなかったとする報告もみられる⁷⁾。今回、高い出力を有しているEr:YAGレーザーをイヌ下顎骨頬側面に照射、骨穿孔し、照射時間と骨穴深度を比較、本レーザーによるインプラント窩形成の可能性と問題点を検討した。

材料と方法

被検体は、閉経後の雌ビーグル犬1匹(体重12.8 kg)を使用した。下顎左右の前臼歯を抜歯した。3ヵ月後、創傷の治癒を肉眼で確認した。手術は、全身麻酔および浸潤麻酔下、歯槽頂および歯牙頬側歯頸部に切開線を入れ、頬側歯肉粘膜を下顎下縁まで剝離し、下顎骨体頬側面を露出した(図1)。レーザー装置は波長2940 nmのEr:YAGレーザー(Lite Touch™, Syneron Medical社, Israel)を使用した(図2)。本装置の特徴は、レーザー発振装置がハンドピースに隣接し、照射対象組織までの距離が短いこと、それらの間に導光のためのファイバーがないこと、装置本体からレーザー発振装置間のコードには圧搾空気、冷却精製水および電線が挿入されているが、コードの屈曲性が高いことおよび精製水はハンドピースよりwater mistとなってチップと対象組織を湿潤することなどである。本装置の仕様については表1に示す。レーザーの照射条件は、パネル上(チップ先端)の出力(power) 8.4 W (pulse energy 700 mJ× pulse rate 12 Hz)、エネルギー密度53 J/cm²、1発

振あたりの照射間隔(pulse duration) 0.6 msec、スポットサイズ1.0 mm、注水量約30 mL/minで、レーザーチップは直径1.3 mm×長径19 mmのサファイヤ製チップを使用した。照射部位はA点;下顎骨頬側面下顎管上方部、B点;下顎骨頬側面下顎管下方部、C点;下顎骨頬側面下縁部で、A点とB点は皮質骨と海綿骨から、C点は皮質骨で構成された部分とした(図3)。チップ先端は、骨面を深度測定のため頬側骨面に垂直に接触させた状態にした。照射時間はA点とB点は5秒間、C点は1, 2, 3, 5, 10秒間照射した。遠心方向に約2 mmずつ移動させ、各5部位(n=5)に照射実験を行った(図1)。照射後、屠殺した。照射部位を中心に下顎骨を頬舌断し、軟組織を除去し骨ブロックを採取した。採取したブロックは10%中性ホルマリンに浸漬した後、脱灰し、HE染色し、光学顕微鏡にて観察した。骨穴深度は組織標本で骨表面の両側壁端を結んだ線から骨穴の最深部までの距離とした(図4)。計測は光学顕微鏡下、形態計測ソフト(SPOT, 米国)を用いて0.1 mm単位で計測した。

すべての動物実験は「神奈川歯科大学実験動物倫理委員会規定」に従って実施した。

結果

5秒照射の骨穴深度について、A点は平均4.7±1.4 mm(皮質骨の厚さ、平均1.4 mm)、B点は5.6±0.4 mm(皮質骨の厚さ、平均1.5 mm)であった(表2)。C点における骨穴深度は、1秒照射平均0.7±0.1 mm、2秒は1.0±0.1 mm、3秒は1.5±0.2 mmと徐々に増加、それ以降、5秒は1.7±0.2 mm、10秒は1.6±0.1 mmであった(表3)。C点における骨穴深度は、1秒、2秒、3秒間では照射時間が長くなると骨穴深度が深くなる傾向にあったが、5秒、10秒では増加傾向はみられなかった。

なお、本実験中の所見として、A点およびB点での一部の骨穴形成時、一時的に多量の出血がみられた。それらはしばらくすると自然止血し、大事に至らなかった。

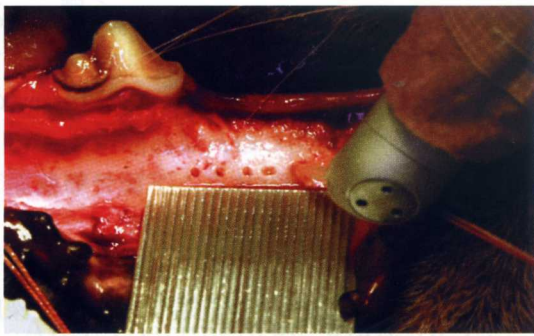


図1 イヌ下顎骨体頬側面

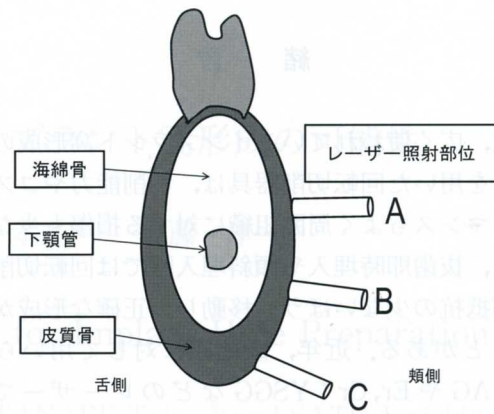


図3 レーザー照射部位

A点；下顎骨体頬側面下顎管上部部，
B点；下顎骨体頬側面下顎管下部部，
C点；下顎骨体頬側面下縁部

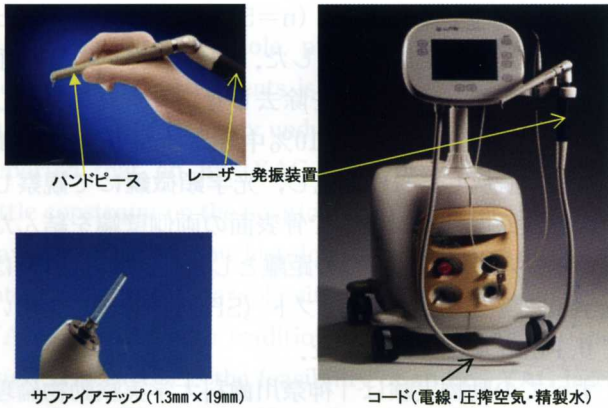


図2 使用した Er:YAG レーザーの外観

レーザー発振装置がハンドピースに隣接し，レーザー導光のためのファイバーがない。

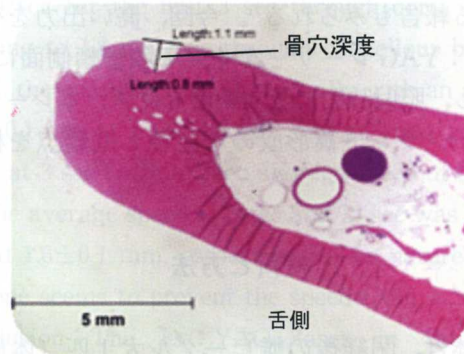


図4 骨穴部病理組織像と骨穴深度測定

表1 使用した Er:YAG レーザーの仕様

Lite Touch™, Syneron Medical, Israel
Wave length : 2940 nm
Pulse energy : 50 mJ up to 700
Pulse rate : 10 Hz up to 50
Pulse duration :
Hard tissue mode : <0.6 msec
Soft tissue mode : <1.0 msec
Power : 0.5 W up to 8.4 on the chip (in the panel)
Spot size :
Hard tissue mode : 0.6-1.0 mm
Soft tissue mode : 0.2-1.0 mm
Volume of water : 0 mL/min up to 30

表2 A点とB点におけるレーザー照射5秒の骨穴深度

	骨穴深度平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	
A点	4.7	1.4	n=5
B点	5.6	0.4	n=5

表3 C点におけるレーザー照射時間別骨穴深度

照射時間	骨穴深度 平均(mm)	標準偏差 (mm)	
1秒	0.7	0.1	n=5
2秒	1.0	0.1	n=5
3秒	1.5	0.2	n=5
5秒	1.7	0.2	n=5
10秒	1.6	0.1	n=5

考 察

従来のEr:YAGレーザーは組織内部での蒸気爆発による蒸散、切削を行うが、今回の装置はハンドピースからの注水をレーザーで爆発させて歯や骨を蒸散させる新しいEr:YAGレーザーである。このため熱が組織内部に残りにくく、熱による損傷や痛みがほとんどないという特徴がある。

Er:YAGレーザーの硬組織に対する作用メカニズムは、光エネルギーがハイドロキシアパタイトに吸収され組織を蒸散するときの微小爆発であるとされる⁷⁾。回転切削器具とは異なりレーザーのチップを対象組織に接触させずに作用させることができる。そのため振動や圧力を減弱でき無痛な環境下、う蝕の除去および窩洞形成が可能とされる^{8,9)}。骨組織に関しては、LLLT (low-level laser therapy) 効果によりインプラント表面で骨統合を促進するという報告がある^{10~13)}。また高い殺菌効果、出血の軽減、炎症鎮静効果よりインプラントの二次手術¹⁴⁾、インプラント周囲炎の治療に使用されている^{15,16)}。しかし高出力であるため、周囲組織に対する反応を問題視する意見もある¹⁴⁾。

EL-MONTASERら⁴⁾は、マウスの頭蓋骨にEr:YAGレーザーと従来の回転切削器具を用いてインプラント窩形成を行いチタン製のインプラントを埋入、3カ月後に両者のインプラントと骨面を組織学的に比較し、同程度のオッセオインテグレーションを確認した。SALINAら¹⁾も、兎の脛骨を用いて同様の実験を行い、30日後にはすべてのインプラントがオッセオインテグレーションを示し、両者の間に差がなかったと述べた。KESLARら³⁾は、マウスの脛骨にEr:YAGレーザーと従来の回転切削器具を用いてインプラント窩形成しインプラントを埋入、組織学的に骨とインプラントとの接触率を比較した。その結果、Er:YAGレーザーは回転切削器具と同等以上のインプラント骨接触率を示した。SCHWARZら²⁾は、ビーグル犬の下顎骨を用いて同様の実験を行った。どちらも3カ月後には組織学的に同程度の接触率を示した。このようにEr:YAGレーザーと回転切削器具によるインプラント窩形成の間には、組織学的オッセオインテグレーションの獲得に差がないとする報告が

多かった。

Er:YAGやEr,Cr:YSGGレーザーは、前述のように、多くの報告で骨穴形成の可能性を示した。しかし、それらの報告で用いられていたレーザー装置の多くはレーザー導光にファイバーを使用していた。ファイバーによる導光は、エネルギーロスと吸収されたレーザーの発熱で破壊されやすいという欠点がある。今回使用したEr:YAGレーザーにはファイバーがない(図2)。そのため、本装置は、ファイバーの損傷を気にせずにインプラント窩形成および自家骨ブロック固定用のネジ穴形成にも応用可能である。

本装置の精製水はハンドピース先端で噴霧状になって放射される。噴霧状の精製水は、チップを取り囲むように照射野に到達し、チップと照射部位を広範囲に濡らす仕組みになっている。チップ表面を濡らす精製水はチップ先端に移動し、そこで水滴が形成される。本実験では、骨面を深度測定の基点としたためチップ先端は骨面に接触、固定させた状態にした。レーザーの焦点はチップ先端より1mmに設定されてあるので、照射されたレーザーは骨面ではディフォーカス、深度1mmではフォーカスおよびそれ以上の深度では再度ディフォーカスで作用されたことになる。チップを対象物の骨組織に接触させた状態で注水、照射すると、レーザーはチップ先端の水滴と対象物で瞬時に反応した。しかし、チップ先端でのチップの損傷および組織片の付着は起こらなかった。そのため、全試験、同一チップで実験を行った。本実験では、皮質骨のみで構成されたC点での骨穴深度は1秒から3秒までは徐々に増加し、その後の増加はみられなかった。これはチップ先端を皮質骨に置いた状態で照射した場合、骨穴深度は限界があることを示したと思われる。その原因として、1. 骨組織のチップ面への付着による出力低下; 2. チップと骨面との距離が離れ; 骨面での出力が低下したこと、3. チップと骨面の間に水分が貯留し、貯留した水にエネルギーが吸収され、骨面での出力が低下したこと、4. 対象物の骨組織の構造が緻密で、破壊するまでのエネルギー量に到達しなかったこと、5. 骨表面のアパタイトの構造が変化し、レーザー吸収波長が変化したこと、などが考えられた。

皮質骨と海綿骨で構成されたA点およびB点における皮質骨の厚さは、A点では平均1.4mm、B点は

平均1.5 mmであった。C点の皮質骨での照射実験から、皮質骨1.5 mmの骨穴深度の形成時間は約3秒であったと考えられた。A点、B点での5秒間照射時間のうち最初の3秒間は皮質骨の骨穴形成にかかった時間、残りの2秒間は海綿骨での骨穴形成にかかった時間に相当すると考えられた。照射時間5秒における骨穴深度は、A点4.7 mm、B点5.6 mmであった。ここからC点の計測でわかった3秒間での皮質骨の骨穴深度1.5 mmを差し引くと、残り2秒間における海綿骨の骨穴深度は、A点3.2 mm、B点4.1 mmであった。1秒あたりではA点は1.6 mm、B点2.1 mmで、両者の平均が1.8 mm/secであった。すなわち、本研究での皮質骨の骨穴形成速度は約0.5 mm/sec、海綿骨は約1.8 mm/secとなった。骨組織の構造の違いによりレーザーによる骨穴形成速度に差があると思われた。本実験で骨穴部位を観察すると、組織構造の違いに影響されず骨穴は直線的であった。回転切削器具による骨穴形成では、ハンドピースの位置および方向を保持する力と回転切削器具先端を周囲骨組織に圧力をかけて切削する作業を同時に行う必要があった。本実験でのEr:YAGレーザーの使用感覚は、回転切削器具の位置および角度を保持するための力が必要であったが、骨穴形成時周囲骨組織に圧力を与える必要はなかった。これらの圧力の配分は骨組織の構造の違いに影響をうけなかった。Er:YAGレーザーは回転切削器具と異なった骨穴の形成が可能と考えられた。臨床では、インプラント窩形成部位の骨形態が狭かったり、傾斜していたりする場合、回転切削器具先端が圧力のかからない方向に移動、骨穴形成の位置ずれを起こすことがある。また、顎骨内で皮質骨や海綿骨の構造の違いで回転切削器具先端が移動し、インプラント窩が誤った方向に形成されることがある。このような時、圧力や組織構造の違いに影響されない本法は有用であると考えられた。しかし、今回の研究で、皮質骨のような緻密な骨構造部ではインプラント窩形成に限度があること、回転切削器具に比較し形成時間が長いなどの問題点もみられた。本法と回転切削器具による形成法を併用することも有用であると考えられた。本研究で、窩形成術中の出血は皮質骨のみで構成されるC点では気にならなかった。しかし、海綿骨も含まれるA点およびB点では一時的に多量の出血がみられた。しばらくすると止血し、大事には至

らなかった。海綿骨では皮質骨に比較し脈管が多いことが原因と考えられた。下顎では下歯槽動脈が下顎管を構成する緻密骨で囲まれる。回転切削器具での形成は、緻密骨の感触の違いで下顎管の位置を探ることができた。しかし、レーザーによる窩形成は、対象組織の骨構造の違いによる感触の違いを認識しがたい。そのため本法は下歯槽動脈を損傷する危険性が高いと考えられた。同様に、上顎では上顎洞や鼻腔穿孔の危険性が考えられる。それらの対策として、レーザーの方向および深度を正確にコントロールする方法を確立する必要があると考えられた。今回の照射条件はレーザーチップ先端で8.4 Wとかなり高出力である。歯科臨床でEr:YAGレーザーをこのような高い出力で使用することは少なく、骨組織にどのように影響がでるか、更なる検討が必要である。

結 論

Er:YAGレーザーを使い、レーザーチップをインプラント窩の頬側面に固定した状態で照射し、照射時間と骨穴深度を比較、本レーザーを用いたインプラント窩形成の可能性と問題点を検討した。

1. 骨穴形成速度は皮質骨では遅く、海綿骨では早くなった。また、皮質骨での骨穴深度に限界があった。
2. 本法は骨組織への圧力の必要な回転切削器具と異なった骨穴形成が可能と考えられた。
3. レーザーの方向および深度を正確にコントロールする方法の確立、形成時の出血、周囲骨組織への影響など今後課題とすべき問題点がみられた。

本研究は第38回日本口腔インプラント学会学術大会（東京）で発表した。

文 献

- 1) SALINA, S., MAIORANA, C., IEZZI, G., COLOMBO, A., FONTANA, F. and PIATTELLI, A.: Histological evaluation, in rabbit tibiae of osseointegration of mini-implants in sites prepared with Er:YAG laser versus sites prepared with traditional burs; J. Long-term Effects Med. Implants, 16: 145-156, 2006.
- 2) SCHWARZ, F., OLIVILER, W., HERTEN, M.,

- SAGER, M., CHAKER, A. and BECKER, J. : Influence of implant bed preparation using an Er : YAG laser on the osseointegration of titanium implants : a histomorphometrical study in dogs ; *J. Oral Rehabil.*, 34 : 273-281, 2007.
- 3) KESLAR, G., ROMANOS, G. and KOREN, R. : Use of Er : YAG laser to improve osseointegration of titanium alloy implants—a comparison of bone healing ; *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, 21 : 375-379, 2006.
- 4) EL-MONTASER, M., DEVLIN, H., DICKINSON, M. R., SLOAN, P. and RICHARD, E. : Osseointegration of titanium metal implants in Er : YAG laser-prepared bone ; *Implant Dent.*, 8 : 79-85, 1999.
- 5) LEWANDROWSKI, K. U., LORENTE, C., SCHOMACKER, K. T., FLOTTE, T. J., WILKER, J. W. and DEUTSCH, T. F. : Use of the Er : YAG laser for improved plating in maxillofacial surgery : comparison of bone healing in laser and drill osteotomies ; *Laser Surg. Med.*, 19 : 40-45, 1996.
- 6) INGENEGEREN, I. : Full-laser implant bed preparation : case studies using different implant systems ; *Implants*, 6 : 4-8, 2006.
- 7) KIM, K. S. : Effects of water flow on dental hard tissue ablation using Er : YAG laser ; *J. Clin. Laser Med. Surg.*, 21 : 139-144, 2003.
- 8) MATSUMOTO, K., HOSSAIN, M., TSUZUKI, N. and YAMADA, Y. : Morphological and compositional changes of human dentin after Er : YAG laser irradiation ; *J. Oral Laser Application*, 3 : 1-6, 2003.
- 9) STEFAN, S., CONSTANTIN, L., OLIVER, S., ROBERT, S. and JOHANN, W. : Er : YAG laser osteotomy for intraoral bone grafting procedures : A case series with a fiber-optic delivery system ; *J. Periodontol.*, 78 : 2389-2394, 2007.
- 10) KHADRA, M. : The effect of low level laser irradiation on implant-tissue interaction. In vivo and in vitro studies ; *Swed. Dent. J. Suppl.*, 15 : 1-63, 2005.
- 11) KHADRA, M., KASEM, N., LYGSTADAAS, S. P., HAANAES, H. R. and MUSTAFA, K. : Laser therapy accelerates initial attachment and subsequent behaviour of human ; *Clin. Oral Implants Res.*, 16 : 168-175, 2005.
- 12) KHADRA, M. : The effect of low level laser irradiation on implant-tissue interaction. In vivo and in vitro studies ; *Swed. Dent. J., Suppl.*, 172 : 1-63, 2005.
- 13) JAKES, N., PAYER, M., TANGLE, S., BERGHOLD, A., KIRMEIER, R. and LORENZONI, M. : Influence of low-level laser treatment on bone regeneration and osseointegration of dental implants following sinus augmentation. An experimental study on sheep ; *Clin. Oral Implants Res.*, 18 : 517-524, 2007.
- 14) ARNABAT-DOMÍNGUEZ, J., ESPAÑA-TOST, A. J., BERINI-AYTÉS, L. and GAY-ESCODA, C. : Erbium : YAG laser application in the second phase of implant surgery : a pilot study in 20 patients ; *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, 18 : 104-112, 2003.
- 15) GIANNINI, R., VASSALLI, M., CHELLINI, F., POLIDORI, L., DEI, R. and GIANNELLI, M. : Neodymium : yttrium aluminum garnet laser irradiation with low pulse energy : a potential tool for the treatment of peri-implant disease ; *Clin. Oral Implants Res.*, 17 : 638-643, 2006.
- 16) KREISLE, M., KOHNEN, W., CHRISTOFFERSC, A. B., GOTZ, G. H., JANSEN, B., DUSCHNER, H. and D'HOEDT, B. : In vitro evaluation of the biocompatibility of contaminated implant surfaces treated with an Er : YAG laser and an air powder system ; *Clin. Oral Implants Res.*, 16 : 36-43, 2005.