

学位論文

エナメルマトリックスタンパク質を用いた歯周組織再生療法
に対する Er:YAG レーザー照射の有効性

宮國 茜

大学院歯学独立研究科 健康増進口腔科学講座
(主指導教員:吉成 伸夫 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士(歯学)学位申請論文

The effect of Er:YAG laser irradiation for periodontal
regeneration therapy using enamel matrix protein

Akane Miyakuni

Oral Health Science, Department of Oral Health Promotion, Oral Science
Course, Matsumoto Dental University Graduate School of Oral Medicine,

(Chief Academic Adviser : Professor Nobuo Yoshinari)

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

概要

歯周炎は口腔内常在細菌によって引き起こされる感染症で、歯周組織を破壊する疾患である。進行すると歯を支持する組織である歯肉結合組織、歯根膜、歯槽骨に炎症が波及し、歯の動揺が重度となり、最終的に抜歯に至る。歯周炎の治療法は、原因除去療法として従来から手用器具によるプラーク、歯石等の病因の機械的除去、すなわちスケーリング・ルートプレーニングが行われてきた。さらに高度に進行した状態では歯周外科療法、なかでも歯周組織再生療法が普及している。一方、歯周外科療法時に解剖学的制約で手用器具の到達が困難な部位も多く、このような部位への歯科用レーザーの併用が注目されている。しかし、重度に進行した垂直性骨欠損部位に対する歯周組織再生療法にレーザーを併用し、その有効性を検証した研究は少ない。そこで、本研究ではエナメルマトリックスタンパク（Enamel Matrix Derivative 以下、EMD）を適用した歯周組織再生療法にエルビウムヤグ（Er:YAG）レーザーを併用し、歯周組織改善に対する有効性を検証した。

歯周組織再生療法の適応となる 2, 3 壁性の垂直性骨欠損を有する患者 15 名 29 部位を、EMD を適用した歯周組織再生療法（コントロール群：12 部位）と、Er:YAG レーザー併用 EMD を適用した歯周組織再生療法（レーザー併用群：17 部位）の 2 群に分けた。臨床評価は、術直前と術後 1 年における Probing Depth (PD), Clinical Attachment Level (CAL) を測定し、平均 PD 減少量と臨床的付着獲得量を算出して両群を比較した。さらに、手術部位を骨欠損部の深さ、歯槽骨欠損の近遠心部位、骨壁数、手術部位の上下顎、歯種によって細分類し、両群を比較した。

術後 1 年のコントロール群の平均 PD 減少量： 1.0 ± 1.5 mm, 平均臨床的付着獲得量： 0.8 ± 1.8 mm, レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.6 ± 1.2 mm, 平均臨床的付着獲得量： 1.2 ± 1.7 mm であり、両群間に有意差は認められなかった。細分類の結果、手術部位が「上

顎」のコントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量（コントロール群： -1.3 ± 0.6 mm，レーザー併用群： 2.0 ± 1.2 mm， $p < 0.05$ ）と平均臨床的付着獲得量（コントロール群： -1.3 ± 0.6 mm，レーザー併用群： 2.4 ± 1.6 mm， $p < 0.05$ ）で有意差がみられた。

本研究において，解剖学的歯根形態が複雑な上顎の歯周外科療法においては Er:YAG レーザー併用をした歯周組織再生療法が歯周組織再生療法単独よりも有用であることが示された。

緒言

我が国の平成 29 年の患者調査によると歯肉及び歯周疾患の患者数は 398 万人と報告されている¹⁾。これは，前回平成 26 年の患者調査と比較して 67 万人も増加している。また，平成 28 年度の歯科疾患実態調査では 4 mm 以上の歯周ポケットを持つ者の割合は，高齢になるにつれ増加しており，年次推移を見るとほぼ全ての年代で上昇している²⁾。高齢化が進行している我が国において，歯周病をコントロールし，口腔内環境を良好に維持することは全身の健康につながり，健康寿命延伸のために重要であると考えられる。

歯周病は，口腔内常在菌の感染により引き起こされ，様々な修飾因子（プラークリテンションファクター，外傷性咬合）が加わり，付着の喪失と歯槽骨吸収を起こす慢性炎症性疾患である。よって歯周病治療には，従来から超音波や手用器具によるプラークの機械的除去が行われている。しかし，深い歯周ポケットや解剖学的に複雑な歯根形態などの制約によって操作が困難，あるいは器具の届きにくい部位があり，新たな細菌除去器械として歯科用レーザーの適用が検討されている。

Er:YAG レーザーは中赤外線領域のハードレーザーで，組織吸収性が高く，本邦では 2010 年に歯肉剥離搔爬術，または歯周組織再生療法においてレーザー照射により歯石除去等を施行した場合は「手術時歯根面レーザー応用加算」として保険収載され³⁾，歯周病

治療における適応範囲も拡大している。しかし、垂直性骨欠損を有する歯を対象として施行される歯周組織再生療法に対しての有効性を判定した報告は少ない。

歯周組織再生療法とは、骨欠損部に対して骨移植材、GTR(Guided Tissue Regeneration)メンブレン、歯根面に対する EMD ゲル、FGF-2 (Fibroblast Growth Factor-2: リグロス®) を適用することで結合組織性付着(新付着)、すなわち、歯周組織再生を計る手術法である。

本研究では、EMD 適用による歯周組織再生療法時の肉芽組織の除去、および歯根面のデブライドメント処置に Er:YAG レーザーを併用し、歯周組織再生療法の有効性を検討した。

被験者及び方法

1. 被験者および被験部位

2012～2014年に松本歯科大学病院(以下、本院)を受診し、歯周組織再生療法を受けた15名(女性:9名、男性:6名)を対象とした(表1)。被験者には、研究開始前に本研究の趣旨、目的ならびに方法に関する説明を行い、文書にて同意を得た。なお、被験者は歯周組織再生療法の予後に影響するため、糖尿病、虚血性心疾患、慢性閉塞性肺疾患、喫煙習慣、6ヶ月以内の抗菌薬服用歴がない者を対象とした。

被験者には、O'Learyらのプラークコントロールレコード(PCR)値が20%以下となり⁴⁾、通常のスケーリング・ルートプレーニング等の歯周基本治療を施行した後、歯周組織再生療法の適応となる垂直性骨欠損を有する患者15名、29部位に対し、エナメルマトリックスタンパク(エムドゲイン®ゲル、ストローマン・ジャパン株式会社、東京、日本)を適用した歯周組織再生療法を施行した群(コントロール群:12部位)とEr:YAGレーザー併用EMDを適用した歯周組織再生療法を施行した群(レーザー併用群:17部位)にコイ

ントスにより無作為に分けた（表 2）。被験歯種は前歯部 2 部位（上顎 1 部位，下顎 1 部位），小臼歯部 7 部位（上顎 4 部位，下顎 3 部位），大臼歯部 20 部位（上顎 5 部位，下顎 15 部位）であった。なお，本研究は松本歯科大学倫理審査委員会の承認（第 1082 号）を得て実施した。

2. 細分化した分類について

細分化した分類として，術中の骨欠損部の深さ，歯槽骨欠損の近遠心部位，骨壁数，手術部位の上下顎にて分類した。なお，歯槽骨欠損の垂直的深さは 3 mm 未満の骨欠損を「浅い」，3 mm 以上の骨欠損を「深い」とした。「浅い」コントロール群は 6 部位，レーザー併用群は 7 部位，「深い」コントロール群は 6 部位，レーザー併用群は 10 部位であった。「近心」のコントロール群は 6 部位，レーザー併用群は 9 部位，「遠心」のコントロール群は 6 部位，レーザー併用群は 8 部位であった。また，「2 壁」のコントロール群は 3 部位，レーザー併用群は 4 部位，「3 壁」のコントロール群は 9 部位，レーザー併用群は 13 部位であった。さらに，「上顎」のコントロール群は 3 部位，レーザー併用群は 7 部位，「下顎」のコントロール群は 9 部位，レーザー併用群は 10 部位であった（表 3）。

3. 歯周組織再生療法の術式

すべての症例は，術野の清掃・消毒の後，頬側の歯肉歯槽粘膜境よりやや根尖側を刺入点として 8 万分の 1 エピレナミン含有 2% キシロカイン[®]で局所浸潤麻酔後に通法通り歯肉溝切開を行い，粘膜骨膜弁の剥離・翻転を施行した。歯間乳頭部は，粘膜骨膜弁の一次閉鎖を達成し同時に歯間部骨頂の軟組織を最大限温存する目的で歯間乳頭部保存術を施行した。すなわち，頬側，隣接面，舌側の歯肉溝切開の後，舌側の歯間乳頭に半月状の切開を入れ，この半月状切開は歯肉表面に対して直角に入れるように施行した。歯肉弁の剥離・翻転後，コントロール群では通法通りキュレットタイプスケーラー

(グレーシーキュレットアフターファイブ[®], ヒューフレディ・ジャパン合同会社, 東京, 日本) を使用し, 不良肉芽組織の除去, 歯根面のルートプレーニングを施行し, 37% 正リン酸ジェル (エッチャント, 株式会社ジーシーデンタルプロダクツ, 東京, 日本) にて 10 秒根面処理した. 生理的食塩水にて水洗後, 直ちに EMD を骨欠損底部から露出歯根面全体を完全に覆うように塗布, 歯肉弁を復位, 縫合した. 縫合は頬舌側の粘膜骨膜弁を緊密に閉鎖するため単純縫合と垂直マットレス縫合を組み合わせて施行した. 縫合糸にはプラークが付着しにくいテフロン縫合糸 (ゴアテックス[®] スーチャー, 日本ゴア株式会社, 東京) を使用した. レーザー併用群では, 上述と同様, キュレットタイプスケーラーによる肉芽組織の除去後に Er:YAG レーザー (Erwin AdvErL[®], 株式会社モリタ製作所, 京都, 日本) (図 1), レーザー照射用チップ (レザチップ C600F, 株式会社モリタ製作所, 京都, 日本) (図 2) を用いて不良肉芽組織除去と歯根面のデブライドメントを施行した. 照射条件は, 骨欠損内部の肉芽組織除去では 20 pps, 40 mJ/pulse で, 歯根面のデブライドメントには 10 pps, 30 mJ/pulse, チップ先端は歯根面に対し接触あるいは近接触の状態を保持し, いずれも照射の際には正常組織に対する熱の蓄積を防ぐため注水下にて照射した.

デブライドメントの際には, 効率的に除去できるよう骨欠損部の底部から順に歯根面に照射した. その後, 根面処理, EMD を塗布し歯肉弁を復位, 縫合した.

4. 臨床評価項目

臨床評価は, 術前と術後 1 年における Probing Depth (PD), Clinical Attachment Level (CAL) を測定し, 平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量を算出して評価した.

5. 統計処理

統計処理には SPSS[®] for Windows (ver.16.0, 日本アイ・ビー・

エム社，東京，日本）を使用し，両群を Mann-Whitney の U 検定にて解析した．細分類群の比較も同様に，Mann-Whitney の U 検定にて解析した．なお， $p < 0.05$ をもって有意差ありとした．

結果

1. コントロール群とレーザー併用群間の平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量の比較

術後 1 年のコントロール群では平均 PD 減少量： 1.0 ± 1.5 mm，平均臨床的付着獲得量： 0.8 ± 1.8 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.6 ± 1.2 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.2 ± 1.7 mm であり，両群間に有意差は認められなかった（平均 PD 減少量： $p = 0.68$ ，平均臨床的付着獲得量： $p = 0.61$ ）．（表 4）

さらに，手術部位を骨欠損部の深さ，歯槽骨欠損の近遠心部位，骨壁数，上下顎により細分類し，8 群に分けた結果は以下の通りであった．（表 5，6）

1) 骨欠損部の深さによる分類で「浅い」コントロール群では平均 PD 減少量： 0.8 ± 1.8 mm，平均臨床的付着獲得量： 0.3 ± 1.6 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.3 ± 1.0 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.0 ± 1.6 mm であり，両群間に有意差はみられなかった（平均 PD 減少量： $p = 0.94$ ，平均臨床的付着獲得量： $p = 0.63$ ）．「深い」コントロール群では平均 PD 減少量： 1.2 ± 1.3 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.2 ± 1.3 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.8 ± 1.3 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.3 ± 1.9 mm であり，両群間に有意差はみられなかった（平均 PD 減少量： $p = 0.49$ ，平均臨床的付着獲得量： $p = 0.88$ ）．

2) 歯槽骨欠損の近遠心的な部位による分類で「近心」のコントロール群では平均 PD 減少量： 0.8 ± 1.5 mm，平均臨床的付着獲得量： 0.8 ± 1.5 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.4 ± 1.1 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.0 ± 1.9 mm であり，両群間に有意差はみられ

なかった（平均 PD 減少量： $p= 0.78$ ，平均臨床的付着獲得量： $p= 0.96$ ）。「遠心」のコントロール群では平均 PD 減少量： 1.2 ± 1.7 mm，平均臨床的付着獲得量： 0.7 ± 2.2 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.8 ± 1.3 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.4 ± 1.7 mm であり，両群間に有意差はみられなかった（平均 PD 減少量： $p= 0.76$ ，平均臨床的付着獲得量： $p= 0.49$ ）。

3) 歯槽骨欠損の骨壁数による分類で「2壁」のコントロール群では平均 PD 減少量： 2.0 ± 1.0 mm，平均臨床的付着獲得量： 2.7 ± 1.2 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.8 ± 1.7 mm，平均付着獲得量： 0.5 ± 1.7 mm であり，両群間に有意差はみられなかった（平均 PD 減少量： $p= 0.86$ ，平均臨床的付着獲得量： $p= 0.23$ ）。「3壁」のコントロール群では平均 PD 減少量： 0.7 ± 1.6 mm，平均臨床的付着獲得量： 0.1 ± 1.5 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.5 ± 1.1 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.4 ± 1.8 mm であり，両群間に有意差はみられなかった（平均 PD 減少量： $p= 0.47$ ，平均臨床的付着獲得量： $p= 0.13$ ）。

4) 手術部位の上下顎による分類で「上顎」のコントロール群では平均 PD 減少量： -1.3 ± 0.6 mm，平均臨床的付着獲得量： -1.3 ± 0.6 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 2.0 ± 1.2 mm，平均臨床的付着獲得量： 2.4 ± 1.6 mm であり，両群間に有意差がみられた（平均 PD 減少量： $p= 0.02$ ，平均臨床的付着獲得量： $p= 0.02$ ）。「下顎」のコントロール群では平均 PD 減少量： 1.8 ± 0.7 mm，平均臨床的付着獲得量： 1.4 ± 1.4 mm，レーザー併用群では平均 PD 減少量： 1.3 ± 1.2 mm，平均臨床的付着獲得量： 0.3 ± 1.3 mm であり，両群間に有意差はみられなかった（平均 PD 減少量： $p= 0.16$ ，平均臨床的付着獲得量： $p= 0.11$ ）。

考察

1. 歯周病に対するレーザー治療

現在，歯周病治療にレーザーが活用される機会が増加している．これらの手法は「**phototherapy**（光線療法）」と呼ばれ，1990年代の初めに，レーザーあるいはインコヒーレント光を使用する治療法として応用されるようになった⁵⁾．種々のレーザーの中で，炭酸ガスレーザー，Nd:YAGレーザー，半導体レーザーは軟組織の切開等に応用され，組織の蒸散が容易なだけでなく，止血効果を伴う利点がある⁶⁾．炭酸ガスレーザーは歯肉のメラニン除去，Nd:YAGレーザーは慢性歯周炎に対する歯肉縁下の搔爬，歯肉のメラニン除去が適応であるとされる⁷⁾．しかし，歯科用レーザーの中でも比較的到達深度が浅く熱の蓄積が起こりにくい炭酸ガスレーザーでも，軟組織照射時に周囲組織の根面および骨面の炭化を引き起こすケースが報告されている⁶⁾．さらに，炭酸ガスレーザー，Nd:YAGレーザーでは歯根表面の石灰化構造の微小な破壊が認められたと報告されており⁸⁾，使用レーザー毎に一長一短があるのが現状である．

2. Er:YAGレーザー

1) 硬組織に対する作用

本研究で適用したEr:YAGレーザーは，波長が2.94 μm で，理論的に水への吸収性がCO₂レーザーの10倍，Nd:YAGレーザーの15,000～20,000倍と非常に高いという特性があり⁹⁾，水を含む生体組織への吸収性が高く軟組織と硬組織を効果的に蒸散できる．

硬組織蒸散のメカニズムは，熱作用による水や有機成分の選択的昇化に伴い内圧が亢進して微小爆発が生じ，物理的に組織の崩壊が生じる熱力学的効果，あるいは光力学的効果による蒸散であると考えられている．また，Er:YAGレーザーは水への吸収性が他のレーザーと比較して高いことから，歯根表面に照射した場合の微小な破壊や熱の蓄積を抑えることができる．*in vitro*の研究では従来の機械的プラーク除去法と比較し，Er:YAGレーザーが照射された歯根面には線維芽細胞の接着が促進したという報告がある¹⁰⁾．このような特徴から，硬組織への熱のダメージを最小限にして効率的な歯石除去や歯根面のデブライドメントに応用が可能である．

2) 軟組織に対する作用

Er:YAG レーザーの軟組織蒸散のメカニズムは、主に生体表面での熱作用による組織中の水や有機成分の気化蒸散である。そのため、他のレーザーと比較した場合の Er:YAG レーザーの特徴は、照射部のごく表面で吸収が生じ、発熱が軽微で周囲組織の熱変性層も少ないため、軟組織の治癒が早いという特徴がある¹¹⁾。

3) 歯周病原細菌に対する作用

歯周病は歯周ポケット内に存在する口腔内常在菌感染によって引き起こされる慢性炎症性疾患であるため、それらの細菌と歯根面に浸透した内毒素(LPS)の徹底的な除去が歯周病治療に求められる。Er:YAG レーザーによる殺菌効果を検討した研究として、Ando らが培地上の *Porphyromonas gingivalis* のコロニーに Er:YAG レーザーを照射すると照射部位に明らかな発育阻止帯が観察されることを報告している¹²⁾。また、抜去歯の歯根表面に照射した Er:YAG レーザーが LPS の除去に効果的であると報告もある¹³⁾。このように、Er:YAG レーザーによる歯根表面の殺菌、無毒化効果は従来の機械的除去と比較して優れていると考えられる。

3. 歯周病治療への Er:YAG レーザーの応用

我が国では Er:YAG レーザーの歯周ポケットへの照射、歯肉整形、歯肉剥離搔爬術時のレーザー照射が厚生労働省より薬事認可されている。さらに、2010年に歯肉剥離搔爬術または歯周組織再生療法においてレーザー照射により歯石除去等を施行した場合は「手術時歯根面レーザー応用加算」として保険収載され³⁾、適用範囲を拡大している。

重度に進行した歯周炎症例では、歯周ポケットが深く、非外科的治療では骨欠損部の汚染物質の除去が困難であることが多い。また、歯根形態の複雑さ、骨欠損部の幅や深さなどの解剖学的な制約によって器具の到達が制限される場合もある。このような部位に対しては明視下での歯根面のデブライドメントが求められる。そのため、歯肉弁を剥離・翻転し、骨欠損部の不良肉芽の除去、歯根面のルー

トプレーニングを明視下で確実に行う歯肉剥離搔爬術が適応となる。その際、Er:YAGレーザーは不良肉芽組織、歯石の除去が可能であり、手用器具と併用することでより効率的、効果的な処置が期待される。Mizutaniらのイヌを用いた動物実験において、手用器具による処置の対照群と比較して、Er:YAGレーザー群では歯肉剥離搔爬術後に歯槽骨再生が有意に増加したと報告されている¹⁴⁾。高崎らは、垂直性骨欠損に対する歯肉剥離搔爬術へのEr:YAGレーザーの適用で、従来法よりも平均歯周ポケット減少量と平均臨床的付着獲得量で同等以上の効果があることをランダム化対照試験にて確認している¹⁵⁾。さらに、Gasprircらが従来法の歯肉剥離搔爬術を施行した群とEr:YAGレーザーを併用した群を比較し、治療後5年間追跡した結果、術後3年まではEr:YAGレーザー群が歯周ポケット減少量、平均臨床的付着獲得量が有意に改善を認めたと報告している¹⁶⁾。また、Er:YAGレーザーを照射した歯根表面を電子顕微鏡で観察し、スケーラー単独でスケーリングした場合と比較した場合、滑沢な面と粗造な面が繰り返し観察され、その表面性状が線維芽細胞の付着を促すことで歯周組織治癒に寄与するという報告もある¹⁷⁾。以上のことから、歯周外科療法においてEr:YAGレーザーを適用すると歯根面の炎症性肉芽組織の除去や徹底的なデブライドメントが可能となることが期待される。

4. 歯周組織再生療法に対するEr:YAGレーザーの適用

歯周病治療の最終的なゴールは歯周組織を再生し、元通りの状態に戻すことである。しかし、重度の歯周組織破壊を伴う症例では歯肉剥離搔爬術を施行し、原因となる深い歯周ポケットに存在する汚染物質を除去しても、その治癒形態は長い上皮性付着であり、時として歯肉退縮を伴う。そこで、EMDやGTRメンブレンを適用することで新付着、すなわち歯周組織の再生を計る手術法が開発されてきた¹⁸⁾。

Schwarzらは、EMDを用いた歯周組織再生療法にEr:YAGレーザーが併用可能であると報告している。すなわち、24症例の1壁性骨

欠損に EMD を適用し歯周組織再生療法を施行, Er:YAG レーザーを併用した結果, 6 ヶ月後の臨床評価では PD は術前 8.6 ± 1.2 mm から術後 4.6 ± 0.8 mm に, CAL は術前 10.7 ± 1.3 mm から 7.5 ± 1.4 mm となり, EMD 単独群より PD 減少と臨床的付着の獲得が認められたことを報告している. さらに, Er:YAG レーザーを歯根面に照射すれば, 通法の手用器具による機械的除去と根面処理剤の EDTA を塗布した場合と同等と歯周組織再生効果があると報告している¹⁷⁾. また, Taniguchi らは, 1 壁性骨欠損を含む症例において, EMD と自家骨を使用した歯周組織再生療法に Er:YAG レーザーを併用し, 術後 1 年経過時点で良好な結果が得られたことを報告している¹⁹⁾. このように, Er:YAG レーザーを併用した歯周組織再生療法が散見される. しかし, 解剖学的な歯根形態や骨欠損形態は多様であるにも関わらず, Er:YAG レーザーの適用部位について詳細に検討した研究はない. 本研究では, 歯周組織再生療法において Er:YAG レーザーの適用部位による有効性の差異を明らかにすべく部位別に細分類し, 検討を行った.

本研究での部位別解析では, 上顎のコントロール群とレーザー併用群に有意差がみられた. この結果は, 上顎歯は歯根の数が多く, 解剖学的に複雑な形態をしているため手用器具に比べ Er:YAG レーザーの併用により徹底したデブライドメントが可能となり治癒を促進したと考えられる. また, 本研究の細分化した分類では歯種を問わずに「2 壁」や「3 壁」等の部位を設定し解析を行った. しかし, 実際は歯種により歯根の数や解剖学的形態に違いがあるため歯根面のデブライドメントの難易度は異なり, 平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量のばらつきを生じた可能性がある.

一方, レーザー照射条件を先行研究と比較すると, Taniguchi らは 70 mJ/pulse で注水下にて 30 秒間照射し歯根面のデブライドメントを施行した結果, 術後 1 年経過時に EMD 単独群と比較してレーザー併用群の方が良好な結果が得られたとしている¹⁹⁾. その要因として, 解剖学的制約のある部位に対して Er:YAG レーザー照射に

より歯根面のデブライドメントが可能であったこと、骨欠損部の形態に応じて適切な形態のレーザー照射チップを選択したことであると報告している。本研究では、正常組織への熱の蓄積によるダメージを低減するため先行研究より低いパネル出力（10 pps, 30 mJ/pulse）にてレーザー照射を施行した。そして、骨欠損部への挿入が容易で歯根面への熱エネルギーの蓄積を防ぐためレーザー光が一点に集中しにくい先端の直径 600 μ m フラットタイプのレーザー照射チップを選択した。照射の際はチップを歯根面に対して常にわずかに傾斜させる程度に保持し、定点照射をすることなく常にチップを上下、あるいは左右に振る動作で歯石の端から順に根面を露出させながら歯石を完全に蒸散するようにした。この照射方法はレーザー照射による周囲組織への熱の蓄積を低減し、ダメージを最小限にするためである。その結果、上顎ではコントロール群と比較してレーザー併用群に有意差がみられたが、パネル出力をあげることや骨欠損部形態に応じてレーザー照射チップを選択することで上顎のみならず他部位でも良好な結果が得られたかもしれない。本研究の部位別解析の結果では、レーザー併用群の方がコントロール群よりも平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量が少なかった部位は「2壁」と「下顎」であったが、有意差はみられなかったためレーザー照射による影響は不明である。

また、上顎のコントロール群は歯周組織再生療法の結果、平均 PD の減少や平均臨床的付着の獲得が得られなかった。これは手用器具によるスケーリングやルートプレーニングが不十分であれば、EMD の効果が乏しいことを示していると考えられる。さらに、その他の分類で両群間に有意差がみられなかった要因として、一つはレーザー照射条件としてパネル出力と繰り返しパルス数は設定していたが、各部位への照射時間や照射時の注水量を規定しなかったことである。もう一点は、本研究では n 数が少なく被験者の平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量にばらつきが出て、有意差が認められなかったと考えられる。

今後は、被験者 1 名につき 1 部位として先行研究に倣い被験者 30 名 30 部位程度を対象として研究を継続する予定である。

5. 今後の展望

本研究ではどのような骨欠損形態においても同じ形態の照射チップを用いて不良肉芽の除去と歯根面のデブライドメントを施行した。しかし、通常の歯周病治療においては手用器具でスクレーピング・ルートプレーニングを行う際は部位に適した器具を選択している。それと同様に照射チップを部位別に選択することで、より骨欠損形態に合わせたレーザー照射が可能になると考えられるため、術者の負担軽減や歯周組織再生に対するさらなる効果が期待される。

さらに、対象となる歯種を限定する、あるいは単根歯と複根歯に分類して解析を行うなどの歯種による解剖学的形態の違いを考慮することで、コントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量のばらつきを抑えた比較検討が可能になると示唆される。

結論

本研究において、歯周組織再生療法時の Er:YAG レーザー併用による歯槽骨欠損部の肉芽組織除去、歯根面のデブライドメントは上顎歯に対して、より有用であることが示された。

謝辞

本稿を終えるにあたり、ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました松本歯科大学大学院歯学独立研究科健康増進口腔科学講座吉成伸夫教授に謹んで感謝の意を表します。また、本稿の遂行に際し、終始ご懇切なるご指導を賜りました大学院歯学独立研究科硬組織疾患制御再建学講座平岡行博教授、大学院歯学独立研究科健康増進口腔科学講座山本昭夫教授、松本歯科大学歯学部歯科保存学講座増田宜子教授、公益財団法人ライオン歯科衛生研究所石原裕一先生に心より御礼申し上げます。さらに、ご支援ご協力を賜りました松本歯科大学歯科保存学講座の皆様感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 厚生労働省，平成 29 年患者調査結果の概要，第 1 部推計患者数
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/17/dl/01.pdf>
(accessed2020-1-13).
- 2) 厚生労働省，平成 28 年歯科疾患実態調査結果の概要，第 3 部歯肉の状況
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/62-28-02.pdf>(accessed 2020-1-13)
- 3) 厚生労働省，平成 22 年度歯科診療報酬改定の概要
https://www.mhlw.go.jp/bunya/iryouhoken/iryouhoken12/dl/setumei_06.pdf (accessed2020-1-17)
- 4) 特定非営利法人日本歯周病学会（2016）歯周治療の指針 2015，1 版，29，医歯薬出版株式会社，東京
- 5) Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Yukna RA, Takasaki AA, Romanos GE, Taniguchi Y, Sasaki KM, Zeredo JL, Koshy G, Coluzzi DJ, White JM, Abiko Y, Ishikawa I and Izumi Y (2015) Periodontal and peri - implant wound healing following laser therapy. *Periodontol* 2000. 68: 217-69.
- 6) 谷口陽一，青木章，水谷幸嗣，和泉雄一（2016）Er:YAG レーザーの特徴を応用した歯周治療．*日レ医誌* 37: 43-51.
- 7) Aoki A, Sasaki KM, Watanabe H and Ishikawa I (2004) Lasers in nonsurgical periodontal therapy. *Periodontol* 2000. 36: 59-97.
- 8) Israel M, Cobb CM, Rossmann JA and Spencer P (1997) The effects of CO², Nd: YAG and Er:YAG lasers with and without surface coolant on tooth root surfaces. An in vitro study. *J Clin Periodontol*. 24(9 Pt 1): 595-602.
- 9) Ishikawa I, Aoki A and Takasaki AA (2014) Potential applications of Erbium: YAG laser in periodontics. *J Periodontal Res*. 39: 275-85.

- 10) Amid R, Gholami GA, Mojahedi M, Aghalou M, Gholami M and Mirakhori M (2017) Effects of Root Debridement With Hand Curettes and Er:YAG Laser on Chemical Properties and Ultrastructure of Periodontally-Diseased Root Surfaces Using Spectroscopy and Scanning Electron Microscopy. *J Lasers Med Sci.* 8: 66-71.
- 11) 青木章, 水谷幸嗣, 谷口洋一, 和泉雄一 (2019) Er:YAG レーザーの特性と新規の歯周ポケット治療法の開発. *日本歯科評論*: 79: 89-101.
- 12) Ando Y, Aoki A, Watanabe H and Ishikawa I (1996) Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria. *Lasers Surg Med.* 19: 190-200.
- 13) Yamaguchi H, Kobayashi K, Osada R, Sakuraba E, Nomura T, Arai T and Nakamura J (1997) Effects of irradiation of an erbium: YAG laser on root surfaces. *J Periodontol.* 68: 1151-5.
- 14) Mizutani K, Aoki A, Takasaki AA, Kinoshita A, Hayashi C, Oda S and Ishikawa I (2006) Periodontal tissue healing following flap surgery using an Er:YAG laser in dogs. *Lasers Surg Med.* 38: 314-24.
- 15) 高崎アリステオ淳志, 青木章, 水谷幸嗣, 秋月達也, 小林宏明, 小田茂, 渡辺久, 梅田誠, 石川烈, 和泉雄一 (2008) 高パルス Er:YAG レーザーの歯周フラップ手術への臨床応用. *日本レーザー歯学会誌*. 19: 91-2.
- 16) Gaspirc B and Skaleric U (2007) Clinical evaluation of periodontal surgical treatment with an Er:YAG laser: 5-year results. *J Periodontol.* 78: 1864-71.
- 17) Schwarz F, Sculean A, Georg T and Becker J (2003) Clinical evaluation of the Er:YAG laser in combination with an enamel matrix protein derivative for the treatment of intrabony periodontal defects: a pilot study. *J Clin Periodontol.* 30: 975-

81.

18) Sculean A, Donos N, Windisch P, Brex M, Gera I, Reich E and Karring T (1999) Healing of human intrabony defects following treatment with enamel matrix proteins or guided tissue regeneration. *J periodont Res.*34: 310-22.

19) Taniguchi Y, Aoki A, Sakai K, Mizutani K, Meinzer W and Izumi Y (2016) A Novel Surgical Procedure for Er:YAG Laser-Assisted Periodontal Regenerative Therapy: Case Series. *Int J Periodontics Restorative Dent.*36: 507-15.

図表の説明

図 1. レーザー照射装置

使用したレーザー照射装置（Erwin AdvErL[®]，株式会社モリタ製作所，京都，日本）を示す。

図 2. レーザー照射用チップ

使用したレーザー照射用チップ（レザチップ C600F，株式会社モリタ製作所，京都，日本）を示す。

表 1. 被験者内訳

被験者数，性別，年齢（平均値±標準偏差）を示す。

表 2. コントロール群およびレーザー併用群の被験者内訳

コントロール群およびレーザー併用群の被験者数，性別，年齢（平均値±標準偏差），部位数，術前 PD（平均値±標準偏差），術前 CAL（平均値±標準偏差）を示す。

表 3. 細分類の部位数

コントロール群およびレーザー併用群の細分類の部位数を示す。

表 4. コントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量

術後 1 年におけるコントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量， p 値を示す。

表 5. 細分類のコントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量

術後 1 年における細分類のコントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量， p 値を示す。

表 6. 細分類のコントロール群とレーザー併用群の平均臨床的付着獲得量

術後 1 年における細分類のコントロール群とレーザー併用群の平均臨床的付着獲得量， p 値を示す。



図 1. Er:YAG レーザー照射装置

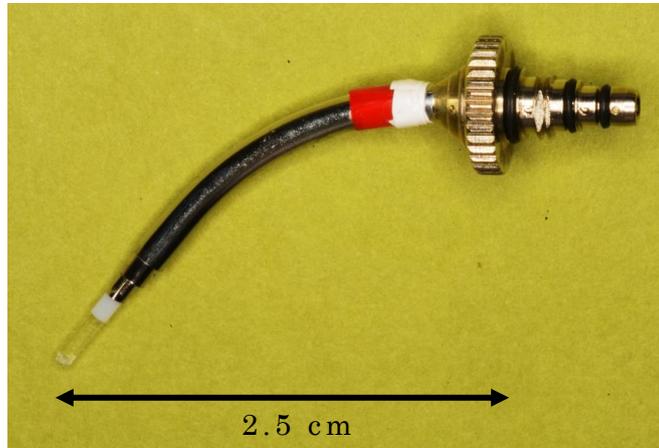


図 2. レーザー照射用チップ

表 1. 被験者内訳

被験者数 (名)	15 (女性: 9, 男性: 6)
年齢 (歳)	56.3 ± 10.6 (女性: 56.0 ± 9.1 , 男性: 57.3 ± 14.1)

表 2. コントロール群およびレーザー併用群の被験者内訳

	コントロール群	レーザー併用群
被験者数 (名)	6 (女性: 4, 男性: 2)	9 (女性: 5, 男性: 4)
年齢 (歳)	54.3 ± 9.9	58.0 ± 10.7
部位数 (部位)	12	17
術前平均 PD (mm)	4.8 ± 0.8	4.7 ± 1.4
術前平均 CAL (mm)	5.3 ± 1.2	5.5 ± 1.6

PD: Probing Depth

CAL: Clinical Attachment Level

表 3. 細分類の部位数

分類		コントロール群	レーザー併用群
骨欠損部の深さ	浅い	6	7
	深い	6	10
近遠心部位	近心	6	9
	遠心	6	8
骨壁数	2壁性	3	4
	3壁性	9	13
手術部位の上下顎	上顎	3	7
	下顎	9	10

表 4. コントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量と平均臨床的付着獲得量

	コントロール群	レーザー併用群	<i>p</i> 値
平均 PD 減少量 (mm)	1.0±1.5	1.6±1.2	0.68
平均臨床的付着 獲得量 (mm)	0.8±1.8	1.2±1.7	0.61

表 5. 細分類のコントロール群とレーザー併用群の平均 PD 減少量

分類		コントロール群	レーザー併用群	<i>p</i> 値
骨欠損部の 深さ (mm)	浅い	0.8±1.8	1.3±1.0	0.94
	深い	1.2±1.3	1.8±1.3	0.49
近遠心部位 (mm)	近心	0.8±1.5	1.4±1.1	0.78
	遠心	1.2±1.7	1.8±1.3	0.76
骨壁数 (mm)	2 壁	2.0±1.0	1.8±1.7	0.86
	3 壁	0.7±1.6	1.5±1.1	0.47
手術部位の 上下顎 (mm)	上顎	-1.3±0.6	2.0±1.2	0.02
	下顎	1.8±0.7	1.3±1.2	0.16

表 6. 細分類のコントロール群とレーザー併用群の平均臨床的付着獲得量

分類		コントロール群	レーザー併用群	<i>p</i> 値
骨欠損部の 深さ (mm)	浅い	0.3±1.6	1.0±1.6	0.63
	深い	1.2±1.3	1.3±1.9	0.88
近遠心部位 (mm)	近心	0.8±1.5	1.0±1.9	0.96
	遠心	0.7±2.2	1.4±1.7	0.49
骨壁数 (mm)	2 壁	2.7±1.2	0.5±1.7	0.23
	3 壁	0.1±1.5	1.4±1.8	0.13
手術部位の 上下顎 (mm)	上顎	-1.3±0.6	2.4±1.6	0.02
	下顎	1.4±1.4	0.3±1.3	0.11