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^{1,2)} Murtaza Saleem²⁾ 石 原 裕 一³⁾
尾 崎 友 輝¹⁾ 田 井 康 寛^{1,2)} 亀 山 敦 史^{1,2)}
増 田 宜 子^{1,2)} 山 本 昭 夫⁴⁾ 吉 成 伸 夫^{1,2)}

¹⁾ 松本歯科大学歯科保存学講座

²⁾ 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

³⁾ 公益財団法人ライオン歯科衛生研究所

⁴⁾ 松本歯科大学病院初診室（総合診断科・総合診療科）

（受付：2020年4月10日，受理：2020年7月11日）

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

Akane MIYAKUNI^{1,2)}, Murtaza SALEEM²⁾, Yuichi ISHIHARA³⁾,

Yuki OZAKI¹⁾, Yasuhiro TAI^{1,2)}, Atsushi KAMEYAMA^{1,2)},

Yoshiko MASUDA^{1,2)}, Akio YAMAMOTO⁴⁾ and Nobuo YOSHINARI^{1,2)}

¹⁾ Department of Operative Dentistry, Endodontology, and Periodontology, School of Dentistry, Matsumoto Dental University

²⁾ Department of Oral Health Promotion, Matsumoto Dental University Graduate School of Oral Medicine

³⁾ The Lion Foundation for Dental Health (Public Interest Incorporated Foundation)

⁴⁾ Department of Oral Diagnostics and Comprehensive Dentistry, Matsumoto Dental University Hospital

(Received: April 10, 2020, Accepted for Publication: July 11, 2020)

Abstract: The effect of periodontal tissue improvement by using Er:YAG laser with periodontal tissue regeneration therapy using enamel matrix protein for 19 patients was examined. The reduction of probing depth and clinical attachment gain of the “maxillary” operative site were improved significantly in the laser-combined group compared to the control group. In conclusion, periodontal tissue regeneration with Er:YAG laser was more effective for application to the upper jaw.

(J. Jpn. Soc. Laser Dent. 30 : 35 ~ 42, 2020 Reprint requests to Dr. MIYAKUNI)

Key words = Er:YAG laser, periodontal regeneration therapy, enamel matrix protein

キーワード = Er:YAG レーザー, 歯周組織再生療法, エナメルマトリックスタンパク質

緒 言

厚生労働省の平成29年患者調査結果の概要によると、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4mm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⁾。よって、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も非常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、新たなプラーク除去器械として歯科用レーザーの適用が注目されている。

そのような中で、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」として算定できるように保険収載され³⁾、歯周病治療における適応範囲も拡大している。しかし、骨縁下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、歯根面に対するエナメルマトリックスタンパク質 (Enamel Matrix Derivative 以下、EMD)、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。

対象と方法

1. 被験者および被験部位

被験者は、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 19 名、平均年齢 53.6 ± 11.2 歳(女性: 13 名、平均年齢 51.8 ± 9.9 歳、男性: 6 名、平均年齢 57.3 ± 12.9 歳)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⁾、通常のスクレーピング・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 19 名、44 部位に対し、エナメルマトリックスタンパク質(エムドゲイン[®]ゲル、ストローマン・ジャパン、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: 27 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 3 部位(上顎 2 部位、下顎 1 部位)、小臼歯部 13 部位(上顎 7 部位、下顎 6 部位)、大臼歯部 28 部位(上顎 9 部位、下顎 19 部位)であった。

さらに両群の比較に関して、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細分化した。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 18 部位、レーザー併用群は 7 部位、「深い」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。「近心」のコントロール群は 12 部位、レーザー併用群は 9 部位、「遠心」のコントロール群は 15 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 8 部位、レーザー併用群は 4 部位、「3 壁」のコントロール群は 19 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 11 部位、レーザー併用群は 7 部位、「下顎」のコントロール群は 16 部位、レーザー併用群は 10 部位であった(表 3)。

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. 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[®]ct (歯科用キシロカインカートリッジ、デンツプライシロナ、東京、日本)で局所浸潤麻酔後、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。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クレーラー(グレイ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、東京、日本)を使用し、不良肉芽組織の除去、歯根面のスクレーピング・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、ジーシー、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 ゲル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。レーザー併用群では、上述と同様、キュレットタイプスクレーラーによる肉芽組織の除去後に Er:YAG レーザー (Erwin AdvErL[®]、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、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 20pps、40mJ/pulse で、歯根面のデブライドメントには 10pps、30mJ/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。縫合は両群ともに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で施行した。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 CV-6, 日本ゴア, 東京, 日本）を使用した。

3. 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。臨床的付着獲得量は術前と術後 1 年における CAL の差として算出した。

4. 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。細分化した比較も同様に、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. コントロール群および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 ± 1.1mm, 平均臨床的付着獲得量：0.6 ± 1.3mm, レーザー併用群では平均 PD 減少量：1.6 ± 1.2mm, 平均臨床的付着獲得量：1.2 ± 1.7mm 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： $p = 0.33$, 平均臨床的付着

表 1 被験者内訳

被験者数 (名)	19 (女性 : 13, 男性 : 6)
年齢 (歳)	53.6 ± 11.2 (女性 : 51.8 ± 9.9, 男性 : 57.3 ± 12.9)
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	レーザー併用群
被験者数 (名)	10 (女性 : 8, 男性 : 2)	9 (女性 : 5, 男性 : 4)
年齢 (歳)	49.6 ± 10.1	58.0 ± 10.7
部位数 (部位)	27	17
術前平均 PD (mm)	4.1 ± 0.9	4.7 ± 1.4
術前平均 CAL (mm)	4.6 ± 1.3	5.5 ± 1.6

PD : Probing Depth

CAL : Clinical Attachment Level

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

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	18	7
	深い	9	10
近遠心部位	近心	12	9
	遠心	15	8
骨壁数	2 壁性	8	4
	3 壁性	19	13
手術部位の上下顎	上顎	11	7
	下顎	16	10

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。

図 1 レーザー照射装置
使用したレーザー照射装置 (Erwin AdvErL®, 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, モリタ製作所, 京都, 日本) を示す。

獲得量: $p=0.32$) (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, 上下顎により細分化し, 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

「浅い」コントロール群では平均 PD 減少量: $0.9 \pm 1.1\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $0.3 \pm 1.0\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $1.3 \pm 1.0\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.0 \pm 1.6\text{mm}$ であり, 両群間に有意差はみられなかった (平均 PD 減少量: $p=0.66$, 平均臨床的付着獲得量: $p=0.39$)。「深い」コントロール群では平均 PD 減少量: $1.3 \pm 1.1\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.2 \pm 1.6\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $1.8 \pm 1.3\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.3 \pm 1.9\text{mm}$ であり, 両群間に有意差はみられなかった (平均 PD 減少量: $p=0.66$, 平均臨床的付着獲得量: $p=1.00$)。

2) 歯槽骨欠損の近遠心部位による分類

「近心」のコントロール群では平均 PD 減少量: $0.9 \pm 1.1\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $0.6 \pm 1.2\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $1.4 \pm 1.1\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.0 \pm 1.9\text{mm}$ であり, 両群間に有意差はみられなかった (平均 PD 減少量: $p=0.60$, 平均臨床的付着獲得量: $p=0.81$)。「遠心」のコントロール群では平均 PD 減少量: $1.1 \pm 1.2\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $0.6 \pm 1.4\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $1.8 \pm 1.3\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.4 \pm 1.7\text{mm}$ であり, 両群間に有意差はみられなかった (平均 PD 減少量: $p=0.43$, 平均臨床的付着獲得量: $p=0.33$)。

3) 歯槽骨欠損の骨壁数による分類

「2 壁」のコントロール群では平均 PD 減少量: $1.5 \pm 0.9\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.1 \pm 1.6\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $1.8 \pm 1.7\text{mm}$, 平均付着獲得量: $0.5 \pm 1.7\text{mm}$ であり, 両群間に有意差はみられなかった (平均 PD 減少量: $p=1.00$, 平均臨床的付着獲得量: $p=0.68$)。「3 壁」のコントロール群では平均 PD 減少量: $0.8 \pm 1.2\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $0.4 \pm 1.1\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $1.5 \pm 1.1\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.4 \pm 1.8\text{mm}$ であり, 両群間に有意差はみられなかった (平均 PD 減少量: $p=0.27$, 平均臨床的付着獲得量: $p=0.15$)。

4) 手術部位の上下顎による分類

「上顎」のコントロール群では平均 PD 減少量: $0.4 \pm 1.4\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $0.0 \pm 1.1\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $2.0 \pm 1.2\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $2.4 \pm 1.6\text{mm}$ であり, 両群間に有意差がみられた (平均 PD 減少量: $p=0.04$, 平均臨床的付着獲得量: $p=0.01$)。「下顎」のコントロール群では平均 PD 減少量: $1.5 \pm 0.6\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $1.0 \pm 1.3\text{mm}$, レーザー併用群では平均 PD 減少量: $1.3 \pm 1.2\text{mm}$, 平均臨床的付着獲得量: $0.3 \pm 1.3\text{mm}$ であり, 両群間に有意差はみ

表 4 コントロール群および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 ± 1.1	1.6 ± 1.2	0.33
平均臨床的付着獲得量 (mm)	0.6 ± 1.3	1.2 ± 1.7	0.32

術後 1 年におけるコントロール群および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およびレーザー併用群の平均 PD 減少量 (mm)

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	浅い	0.9 ± 1.1	1.3 ± 1.0	0.66
	深い	1.3 ± 1.1	1.8 ± 1.3	0.66
近遠心部位	近心	0.9 ± 1.1	1.4 ± 1.1	0.60
	遠心	1.1 ± 1.2	1.8 ± 1.3	0.43
骨壁数	2 壁	1.5 ± 0.9	1.8 ± 1.7	1.00
	3 壁	0.8 ± 1.2	1.5 ± 1.1	0.27
手術部位の上下顎	上顎	0.4 ± 1.4	2.0 ± 1.2	0.04
	下顎	1.5 ± 0.6	1.3 ± 1.2	0.36

術後 1 年における細分類のコントロール群および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およびレーザー併用群の平均臨床的付着獲得量 (mm)

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	浅い	0.3 ± 1.0	1.0 ± 1.6	0.39
	深い	1.2 ± 1.6	1.3 ± 1.9	1.00
近遠心部位	近心	0.6 ± 1.2	1.0 ± 1.9	0.81
	遠心	0.6 ± 1.4	1.4 ± 1.7	0.33
骨壁数	2 壁	1.1 ± 1.6	0.5 ± 1.7	0.68
	3 壁	0.4 ± 1.1	1.4 ± 1.8	0.15
手術部位の上下顎	上顎	0.0 ± 1.1	2.4 ± 1.6	0.01
	下顎	1.0 ± 1.3	0.3 ± 1.3	0.22

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

られなかった (平均 PD 減少量: *p* = 0.36, 平均臨床的付着獲得量: *p* = 0.22)。

考 察

1. 歯周病に対するレーザー治療

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。現在, 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歯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ると報告されており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 $2.94\mu\text{m}$ で、理論的に水への吸収性が炭酸ガスレーザーの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気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⁹⁾。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⁹⁾。*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付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⁹⁾。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、歯肉剥離掻爬術時のレーザー照射が厚生労働省より事業認可されている。さらに、2010 年に歯肉剥離掻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」として算定できるように保険収載され³⁾、適用範囲

を拡大している。

重度に進行した歯周病症例では、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、歯根面のスケーリング・ルートプレーニングを明視下で確実に行う歯肉剥離掻爬術が適応となる。

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掻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掻爬術への 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、Gaspirc らが従来法の歯肉剥離掻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掻爬術を施行し、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¹⁷⁾。

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 $8.6 \pm 1.2\text{mm}$ から術後 $4.6 \pm 0.8\text{mm}$ に、CAL は術前 $10.7 \pm 1.3\text{mm}$ から $7.5 \pm 1.4\text{mm}$

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が両群間に有意差は得られなかったと報告している¹⁸⁾。これは再生するには困難な1壁性骨欠損に適応したのが影響したのかもしれない。しかし、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化し、検討を行った。

本研究での細分化した部位別解析では、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70mJ/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(10pps, 30mJ/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。

本研究の細分化した部位別解析の結果、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があり、それは「2壁」と「下顎」であった。ただ、平均PD減少量では術後1年のコントロール群の1.0 $\pm$ 1.1mmより良好な結果である。平均臨床的付着獲得量に関しては、レーザーを併用せずに歯周組織再生療法の良好な結果が得られやすい部位と考えられるが、原因は不明である。今後症例数を増やす必要がある。

また、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、1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1点は、本研究では歯周組織再生療法を6名の歯科医師が施行したが、臨床経験に差があるため被験者の平均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可能性が考えられる。今後は、レーザー照射条件や施術者に関する条件をあらかじめ設定し、先行研究に倣い被験者40名40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ケリング・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 語

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

稿を終えるにあたり、本研究の統計処理に関して終始ご指導いただきました松本歯科大学歯科放射線学講座 田口 明教授に心から感謝の意を表します。

利益相反

本論文に関して開示すべき利益相反状態はありません。

文 献

- 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> (Accessed 2020.01.13).
- 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 2020.01.13)
- 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 (Accessed 2020.01.13)
- 特定非営利活動法人日本歯周病学会編 : 歯周治療の指針 2015, 1 版, 東京, 2016, 医歯薬出版, 29.
- Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, et al: Periodontal and peri-implant wound healing following laser therapy. *Periodontol* 2000, 68 : 217-269, 2015.
- 谷口陽一, 青木 章, 水谷幸嗣, 他 : 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, 2016.
- Aoki A, Sasaki KM, Watanabe H, et al: Lasers in nonsurgical periodontal therapy. *Periodontol* 2000, 36 : 59-97, 2004.
- Israel M, Cobb CM, Rossmann JA, et al: 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, 1997.
- Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA: Potential applications of Erbium: YAG laser in periodontics. *J Periodontal Res*, 39 : 275-285, 2004.
- Amid R, Gholami GA, Mojahedi M, et al: 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, 2017.
- 青木 章, 水谷幸嗣, 谷口陽一, 他 : 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, 2019.
- Ando Y, Aoki A, Watanabe H, et al: Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria. *Lasers Surg Med*, 19 : 190-200, 1996.
- Yamaguchi H, Kobayashi K, Osada R, et al: Effects of irradiation of an erbium: YAG laser on root surfaces. *J Periodontol*, 68 : 1151-1155, 1997.
- Mizutani K, Aoki A, Takasaki AA, et al: Periodontal tissue healing following flap surgery using an Er:YAG laser in dogs. *Lasers Surg Med*, 38 : 314-324, 2006.
- 高崎アリストオ淳志, 青木 章, 水谷幸嗣, 他 : 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. *日レ歯誌*, 19 : 91-92, 2008.
- Gaspirc B, Skaleric U: Clinical evaluation of periodontal surgical treatment with an Er:YAG laser: 5-year results. *J Periodontol*, 78 : 1864-1871, 2007.
- Sculean A, Donos N, Windisch P, et al: Healing of human intrabony defects following treatment with enamel matrix proteins or guided tissue regeneration. *J Periodont Res*, 34 : 310-322, 1999.
- Schwarz F, Sculean A, Georg T, et al: 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 : 975-981, 2003.
- Taniguchi Y, Aoki A, Sakai K, et al: A novel surgical procedure for Er:YAG laser-assisted periodontal regenerative therapy: Case Series. *Int J Periodont Rest*, 36 : 507-515, 2016.