

その他

ポジション・ペーパー(学会見解論文)

レーザーによる歯石除去

監 修：特定非営利活動法人日本歯周病学会，日本レーザー歯学会

青木 章^{*1}，水谷幸嗣^{*1}，渡辺 久^{*1}，和泉雄一^{*1}，
石川 烈^{*2}，富士谷盛興^{*3}，千田 彰^{*4}，吉田憲司^{*5}，
栗原英見^{*6}，吉江弘正^{*7}，伊藤公一^{*8}

^{*1}東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科

^{*2}東京女子医科大学先端生命医科学研究所

^{*3}日本レーザー歯学会先進医療・保険導入推進委員会委員，愛知学院大学歯学部

^{*4}日本レーザー歯学会先進医療・保険導入推進委員会委員長，愛知学院大学歯学部

^{*5}日本レーザー歯学会理事長，愛知学院大学歯学部

^{*6}特定非営利活動法人日本歯周病学会医療委員会副委員長，広島大学大学院医歯薬学総合研究科

^{*7}特定非営利活動法人日本歯周病学会医療委員会委員長，新潟大学大学院医歯学総合研究科

^{*8}特定非営利活動法人日本歯周病学会理事長，日本大学歯学部

Position paper

Dental calculus removal with lasers

Supervised by Non-Profit Organization The Japanese Society of Periodontology
and Japanese Society for Laser Dentistry

Akira Aoki^{*1}，Koji Mizutani^{*1}，Hisashi Watanabe^{*1}，Yuichi Izumi^{*1}，
Isao Ishikawa^{*2}，Morioki Fujitani^{*3}，Akira Senda^{*4}，Kenji Yoshida^{*5}，
Hiromasa Yoshie^{*6}，Hidemi Kurihara^{*7} and Koichi Ito^{*8}

^{*1} Tokyo Medical and Dental University, Graduate School of Medical and Dental Sciences

^{*2} Tokyo Women's Medical University, Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science

^{*3} The Committee of Promoting Adoptions of Laser Treatments into the Advanced Dental Treatment
and the Social Health Insurance Systems, Japanese Society for Laser Dentistry;
Aichi Gakuin University, School of Dentistry

^{*4} Chair, The Committee of Promoting Adoptions of Laser Treatments into the Advanced Dental Treatment
and the Social Health Insurance Systems, Japanese Society for Laser Dentistry;
Aichi Gakuin University, School of Dentistry

^{*5} President, Japanese Society for Laser Dentistry; Aichi Gakuin University, School of Dentistry

^{*6} Chair, Dental Health Service Systems Committee, Non-Profit Organization The Japanese Society
of Periodontology; Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences

*⁷ Vice-chair, Dental Health Service Systems Committee, Non-Profit Organization The Japanese Society of Periodontology; Hiroshima University, Graduate School of Biomedical Sciences

*⁸ President, Non-Profit Organization The Japanese Society of Periodontology;
Nihon University School of Dentistry

要旨：近年、レーザーの歯周治療への応用が増加し、様々な臨床応用が進んでいる。とくに、水への高い吸収性を示すエルビウム・ヤグ(Er:YAG)レーザーの開発により、歯周治療において歯周軟組織のみならず硬組織への応用が可能となり、非外科的および外科的歯周ポケット治療においては、歯石除去(スケーリング)を含む病的根面の廓清(デブライドメント)などに用いられつつある。本論文は、レーザーによる歯石除去について、その背景、原理、適応、基礎的および臨床的エビデンス、今後の課題と展望、臨床応用上の注意および安全対策について概説する。

日本歯周病学会会誌(日歯周誌)52(2)：180-190, 2010

キーワード：レーザー、歯石、スケーリング、デブライドメント、歯周病罹患根面、歯周ポケット

Key words：lasers, dental calculus, scaling, debridement, periodontally diseased root surface, periodontal pockets

* 本論文の内容に関しては、日本歯周病学会医療委員会および日本レーザー歯学会先進医療・保険導入推進委員会において、利益相反に該当しないとの承認を得ている。

1. はじめに

歯周治療の基本は、歯周病罹患歯根面の生物学的親和性を回復し、歯周組織を再び歯根面に付着させることである。歯周病罹患歯根面にはプラークや歯石が付着し、また病的セメント質、細菌由来の内毒素やその代謝産物などの為害物質が存在しており、歯周組織の治癒を得るためにはこれらの確実な除去が必要である。とくに、ポケット内歯根面の付着性プラークは細菌バイオフィルムを形成しており、抗菌薬は内部までは効果が及びにくく、機械的に破壊しなければ除去できないといわれている¹⁾。

従来、歯根面の沈着物や為害物質を除去するためには、主に手用スケーラーを用いて機械的なスケーリング・ルートプレーニング(SRP)が行われている²⁾。一部には超音波スケーラーやエアスケーラーなどの機器(power-driven instruments, power scalers)も併用されるようになり³⁾、負担は軽減されつつあるが、依然としてその処置は基本的に熟練を要し、時間のかかる処置である。また、従来のSRPでは、必ずしも根面の沈着物を完全に除去できるわけではないことが明らかにされている。また、分岐部や根面の溝および陥凹部、臼歯部の遠心面のアクセスは困難なことが多く、従来の機械的処置には限界がある。一方、除菌のための抗菌薬の歯周ポケットへの局所的応用や全身的応用も効

果的に行われているが、抗菌薬はアレルギー等の副作用や、その多用による耐性菌の出現を引き起こす潜在的な危険を伴っている。従って、今後、これらの補助あるいは代替的手段として新たな方法の開発も必要である。現在、その手段の一つとして、レーザーが研究され、光エネルギーによる蒸散という優れた効果を利用して、歯石除去を含む根面のデブライドメントへのレーザーの臨床応用が行われている⁴⁻⁶⁾。

2. 歯周病罹患根面へのレーザーの応用とその背景

レーザーは、1960年にMaimanによりルビー・レーザーとして、初めて発振されたが、1965年にはすでに、Kinerslyがルビー・レーザー照射による歯石の除去が可能であることを報告し、レーザーの応用では歯石下の歯質の損傷が問題になることを指摘した⁷⁾。歯科では1980年代後半から主に炭酸ガス(CO₂)レーザーやネオジウムヤグ(Nd:YAG)レーザーが軟組織の治療に应用され始め⁸⁾、90年代に入ると、レーザーを歯周病罹患根面のデブライドメントへ応用しようとする研究が盛んに行われるようになった。Nd:YAGレーザーでは、その波長の黒色への高い吸収性を利用して、緑下歯石の除去が可能であることが報告され、臨床応用されているが⁹⁻¹¹⁾、従来のレーザーでは、基本的に硬組織の蒸散が困難であり、歯石除去や根面への高出力

照射においては、熱作用により炭化や融解などが生じやすいため注意が必要である^{12,13)}。一方で、1989年のHibstとKeller¹⁴⁾や茅野らの報告¹⁵⁾により、エルビウム・ヤグ(Er:YAG)レーザーによる歯の硬組織の蒸散が可能であることが示され、レーザーによるう蝕治療が可能となると¹⁶⁻²⁰⁾、歯周領域においても、90年代中頃からレーザーによる硬組織の蒸散、すなわち、より効果的な歯石除去や骨組織の処置が可能となってきた^{4,6,20,21)}。

3. Er:YAG レーザーの特性と組織蒸散のメカニズム

レーザーとは人工的に作り出された光で、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(電磁波の誘導放出による光の増幅)の頭字語(LASER)である。レーザー光は、位相性(可干渉性, coherence), 指向性(collimation), 単色性(monochromaticity)という3つの大きな光学的特性を有するため、位相のそろった秩序正しい波で、集光し、単一の波長を有しており、医学歯学領域において、診断や治療手段として様々な応用されている。今日では多くの種類のレーザーが開発されており、光子エネルギーを誘導放出する媒体である活性物質により分類される。その例として固体レーザー(Nd:YAG, Er:YAG), 気体レーザー(CO₂, アルゴン, ヘリウム・ネオン), 半導体レーザー, エキシマレーザーなどがある。また出力によって低出力レーザー(ソフトレーザー)と高出力レーザー(ハードレーザー)に分類されることもある。また、発振方式により、連続波とパルス波に大別される。

Er:YAG レーザーは、1974年にZharikovらによって発振された固体レーザーで²²⁾、発振波長が2.94 μ m(2,936nm)のパルス波のレーザーである。生体にレーザー照射を行った場合、レーザーの光はその波長により反射、散乱、吸収、および透過のいずれかの反応を示すが、そのうち、赤外領域にある各種ハードレーザーの光学特性に最も影響する因子が、水への吸収の程度である。生体組織の60~80%は水分であり、すなわち、水への吸収性が組織への深達性あるいは吸収性を決める最も大きな要因となっている。Er:YAG レーザーは現在用いられている歯科用レーザーの中では、水への吸収性が最も高く、理論的にCO₂レーザーより10倍、Nd:YAG レーザーよりも15,000~20,000倍の吸収性を示し^{23,24)}、水分を含む生体組織によく吸収される。そのため、軟組織のみならず、硬組織の蒸散能力にも優れたレーザーである。水への高い吸収性により、生体周囲組織への熱影響は極めて小さく、Er:

YAG レーザー光そのものによる軟組織の熱変性層は10~50 μ mである²⁵⁾。硬組織処置の場合には、組織の含水量がわずかであるため発熱を生じやすいが、注水を併用することにより発熱を顕著に抑制することができ²⁶⁾、注水下での歯根セメント質、象牙質の変性層は約5~15 μ mであると報告されている²⁷⁻²⁹⁾。

蒸散のメカニズムは、光エネルギーが組織中の水および有機成分に吸収され、熱作用により蒸散する効果(photothermal evaporation)に加えて、特に硬組織では、その気化に伴い内圧が亢進し、“微小爆発”(microexplosion)による力学的作用により組織の崩壊が生じるという“熱力学的蒸散”(thermomechanical ablation)あるいは“光力学的蒸散”(photomechanical ablation)であると考えられている^{30,31)}。

4. Er:YAG レーザーによる歯石除去効果に関する基礎的研究

1) 歯石除去効果と歯石下の歯質への影響

歯石は多孔性の石灰化組織であり、その構成成分中だけでなくその構造上の小腔中にも水分を含んでいるため、*in vitro*において歯の硬組織より低出力のEr:YAG レーザー照射(先端エネルギー密度11-19J/cm²/pulse)で容易に蒸散することができる^{4,27,32-35)}。注水下の照射では、捻撥音を発しながら蒸散し、歯石の蒸散面には、炭化や融解などの熱傷害は認められず、力学的に破碎されたと推測される粗造な面が認められる²⁷⁾。*In vitro*での抜去歯上での歯石除去効率は先端出力40mJ/pulse(エネルギー密度14.1J/cm²/pulse)、繰り返しパルス数10pps(Hz)で、超音波スケーラーと同程度であり²⁷⁾、パルス数を20-30ppsに上げることで向上し、超音波スケーラーより効率は高くなる。また、近年開発されたEr,Cr:YSGG レーザーもEr:YAG レーザーに近い2.78 μ mの波長を有しており、歯石除去についてもほぼEr:YAG レーザーと同様の効果があることが報告されている³⁶⁾。

Er:YAG レーザーにより歯石の選択的除去が可能であるという報告も一部にはあるが^{33,35)}、基本的に歯石の完全な選択的蒸散は不可能であり、従って、エナメル質上の歯肉縁上歯石の場合には、歯石直下のエナメル質の蒸散が避けられないため禁忌である³⁸⁾。一方、歯根面上の歯肉縁下歯石の場合には、歯石を除去するだけでなく、さらに歯石下の汚染されたセメント質を除去するルートプレーニングも必要であるため、レーザーによって歯石下のセメント質が一層蒸散されるのは許容される。従って、根面上の縁下歯石が適応となる。ただし、歯石除去において根面を過剰に蒸散しな

いように、コンタクトチップを根面に平行あるいはわずかに斜めに保持するような照射法に配慮する必要がある^{4,27,32,39}。照射法と出力をコントロールすることによりセメント質の保存は可能で^{27,32,39}、*in vivo*においては、非外科的治療においてSRPが完全にセメント質を除去してしまうのに対してEr:YAGレーザーではセメント質を保存できるとの報告⁴⁰や、あるいは従来法と損失量は同程度という報告³³もある。一方で、過剰に損失するという報告もあり³⁴、これらは根面へのチップの適合の状態や出力、照射手技によって異なるものと思われる。

2) 照射時の発熱と根面および歯髄への影響

発熱に関しては、注水の併用により、根面や歯髄側への影響はわずかであり^{27,32}、根面の炭化のような熱傷害は生じないが、レーザー照射により一層の歯質の蒸散を生じた面は微細構造を示すため、乾燥させると白色を呈する^{29,32,38,41}。また、蒸散面の微細構造を示す最表層は顕著な有機成分の減少が生じており⁴²、その下層に局限した熱変性と推測される数ミクロンの変化層が生じる^{27,29}。ただし、注水下の照射では、CO₂レーザー照射で認められるような炭化に伴う毒性物質の産生⁴³はほとんど認められない⁴²。また、Er:YAGレーザーは非常に低い出力で殺菌作用を生じ⁴⁴、さらに照射根面にはエンドトキシンの分解・除去効果が認められるなど^{45,46}、レーザー処置面にはスメア層がなく^{27,47}、殺菌効果および無毒化が期待され⁴⁷、これらは従来の機械的手段に優る点で、歯周ポケットの創傷治療に有利に働く可能性がある。

歯髄への影響については、もともと歯石除去よりもはるかに高出力で行われる窩洞形成において、歯髄への影響は従来の高速切削と同程度と報告されており^{37,48}、根面の歯石除去の際の影響はレーザーの照射方向も考えると極めて少ないと推測される。実際に動物実験において、フラップ手術時に行われた根面のデブライドメント後の歯髄の組織学的変化は認められていない⁴⁹。

3) レーザー照射根面の細胞・組織の付着への影響

Er:YAGレーザー照射面に対する歯周組織の付着については、キュレットによるSRPとレーザーによるデブライドメントを歯周病罹患根面にて比較した*in vitro*の研究があり、レーザー治療の方が有意に高い細胞付着を示すことが複数の論文で報告されている⁵⁰⁻⁵²。一方で、健全セメント質を用いた研究では、微細構造を呈する照射セメント質への細胞の付着は低下するが、さらにテトラサイクリン塩酸塩やEDTAなどの根面処理によって、付着が回復向上することが示されている⁵³。

*In vivo*においては、非外科的ポケット治療における創傷治療を調べたSchwarzらの動物研究では、Er:YAGレーザーによるデブライドメント後の根面には明らかに重篤な熱傷害はなく、根面の蒸散も多くはセメント質内で、SRPと同等以上の新生セメント質形成が認められている⁵⁴。外科的治療においてEr:YAGレーザーの根面および骨欠損部のデブライドメントを行ったMizutaniらの動物研究においては、レーザー照射根面は歯周組織の付着を妨げることなく、一部に変成層の残存も認められたが、全体的に変性層は吸収されており、SRPと同程度に新生セメント質の形成を伴う結合織性付着が認められている⁴⁹。後述する臨床研究における良好な成績やその長期安定性から考えると、臨床的には、レーザー照射根面が組織付着を阻害することではなく、得られた付着は安定しているものと推測される。しかしながら、レーザー照射根面に対する歯周組織付着については、エビデンスがまだ不十分であり、今後*in vivo*でのさらに詳細な検証が必要である。

現時点では、臨床応用において、レーザー照射根面の再処理を行うことは必ずしも必要ではないと考えられるが、外科手術時など明視下での処置では、化学的再処理を行うことは術後の創傷治療において効果的に働くと推測される。

5. 根面のデブライドメントへのEr:YAGレーザーの応用に関する臨床研究

1) 非外科的歯周ポケット治療における応用(表1)

渡辺らは、35名の歯周炎患者の歯肉縁下歯石に対して、平均出力約40mJ/pulse(算出した先端出力:32mJ/pulse, 同エネルギー密度:11.3J/cm²/pulse)、10pps、注水下で、直径600μmのコンタクトチップを用いてEr:YAGレーザーによる歯石除去を行い、レーザー治療は有効で、術中にほとんど不快感もなく、処置後の問題も認められず安全であり、術後に歯周ポケットの改善が認められたことを初めて報告した^{55,56}。

Schwarzらは、20名の歯周炎患者において、Er:YAGレーザーを用いて非外科的ポケット治療を行い、スプリットマウスデザインのランダム化比較試験(Randomized controlled trial:RCT)の結果を報告している。浸潤麻酔下で従来のキュレットによるSRPとEr:YAGレーザー処置を行い、レーザー処置群では、チゼル型のコンタクトチップを用いて、出力160mJ/pulse(算出した先端エネルギー密度14.5および18.8J/cm²/pulse)、10pps、注水下で、歯冠側から

根尖側へ向かって根面に15から20度の角度でデブライドメントを行っている。結果として、レーザー群の方が処置時間は短く、6か月後の診査においてSRP群とポケット減少量は同等で、プロービング時の出血(BOP)およびアタッチメントレベルはレーザー群のほうが有意に高い改善を示し⁵⁷⁾、その結果は2年後も維持された⁵⁸⁾と報告している。さらに、彼らの別の報告ではレーザー治療後のキュレットによる追加のルートプレーニング処置は付加的効果がなかったとしている⁵⁹⁾。

超音波スケーラーとの比較では、Sculeanらは、Er:YAGレーザーによる治療は術後6か月において超音波スケーラーと同様な臨床的改善を示したことを報告し⁶⁰⁾、Crespiらは、術後1, 2年においてEr:YAGレーザーは超音波スケーラーより有意に高い臨床的改善を示したと報告している⁶¹⁾。また、Tomasiらはメインテナンス治療での応用において、Er:YAGレーザー治療は、1か月後では超音波より有意に高い臨床的改善を示したが、4か月後には臨床的改善および細菌レベルは同程度であり、また、治療時の不快感はEr:YAGレーザーの方が少なかったことを報告している⁶²⁾。一方で、超音波スケーリングの方が、Er:YAGレーザー治療より細菌の減少度が大きく、レーザー治療より超音波治療の方が患者に好まれたとの報告⁶³⁾がある。また、Er:YAGレーザーによるポケット内での盲目的な歯石除去は従来のキュレット治療に比べて除去率が劣るとの報告⁴⁰⁾や、Er:YAGレーザーは従来の機械的手段の補助として用いられるであろうという報告⁶⁴⁾などがあり、その評価はまだ一定していない。

非外科治療におけるレーザーの応用に関する総説はいくつか出されているが、Cobbはアメリカ歯周病学会から依頼された2006年のレビューのなかで、レーザーが従来の方法より優れているという十分なエビデンスはなく、とくに、最近のエビデンスでは、Nd:YAGとEr:YAGレーザーがポケット深さと縁下の細菌の減少においてSRPと同等であると示唆されているが、アタッチメントレベルの点で従来法を超えるようなエビデンスは非常に少ないと報告した⁵⁾。しかし、この論文に対しては採用した論文数について、またEr:YAGレーザーについて正しく評論していないという反論が出されている^{65,66)}。また、Schwarzらの2008年のシステマティック・レビューでは、Er:YAGレーザーは慢性歯周炎の治療において最も適した特性を有すると思われるが、その安全性と効果は従来の機械的治療の範囲内のものと考えられるが、十分なメタアナリシスを行えるまでにはなっていないと報告している⁶⁷⁾。このように、Er:YAGレーザー単独療

法でSRPより有意に高いあるいは同等以上の長期的な臨床的改善効果を示すことが複数の論文で示されているが、まだ十分なコンセンサスを得られるまでには至っていない。

2) 歯周外科治療における応用(表1)

一方、外科治療における応用では、明視下において歯石の沈着の確認とコンタクトチップの適合が容易であることから、レーザー照射のコントロールがしやすく、結果的に根面の蒸散も少ない。従って、明視下でのEr:YAGレーザーによる根面のデブライドメントは非常に容易で確実性が高い。さらに、フラップ手術においては、Er:YAGレーザーが軟組織の蒸散にも優れ、骨面への応用も行われていることから、同時に骨欠損部の不良肉芽組織掻爬が主要な目的となっている^{6,49)}。Mizutaniらの動物実験では、フラップ手術においてEr:YAGレーザーによる根面のデブライドメントとともに肉芽組織の除去が安全で効果的に達成できることが示され、さらには新生骨形成を促進する可能性が示唆されている⁴⁹⁾。

臨床研究では、Sculeanらはフラップ手術においてEr:YAGレーザーによる骨欠損および根面のデブライドメントと、キュレットと超音波器具による治療を比較し、臨床的改善度に有意差はなかったが、Er:YAGレーザーは歯周外科治療に適した代替手段になるであろうと報告している⁶⁸⁾。GaspircらはEr:YAGレーザーを骨欠損および根面のデブライドメントに応用し、レーザーは従来の機械的手段によるフラップ手術に比べて術後3年まで、有意に高い臨床的改善度、すなわち有意に大きいポケット深さの減少とアタッチメントゲインの増加を示したことを報告している⁶⁹⁾。また、エムドゲインを応用した再生療法において、Er:YAGレーザーによるデブライドメント(根面のEDTA処理なし)の結果は、術後6か月において機械的手段による通法の治療成績と同等であったと報告されている⁷⁰⁾。このように歯周外科治療への応用において、とくに根面のデブライドメントは明視下で容易に達成でき、術後の創傷治癒は従来の機械的治療と同等あるいはそれ以上であることが示されているが、今後、多施設において多数の被験者を対象とする研究や、治療効果に対する多角的な分析評価など、より多くのエビデンスが必要である。

6. 今後の課題と展望

非外科治療におけるポケット内の盲目下のレーザー照射では、*in vitro*とは異なり歯石の探知と除石およびその確認に課題があり、より確実な照射条件や手技

表1 Er:YAG レーザーの非外科的・外科的歯周ポケット治療への応用に関する臨床研究

著者/出版年	研究内容と形態	照射条件	観察期間	結果および結論
渡辺ほか 1995 ^{55,56)}	・非外科的治療(歯石除去) ・症例集積 ・歯周炎患者 35 人 ・ERL	ED 11.3 10pps	3 か月	レーザーによる歯石除去は有効で安全であり、術後に歯周ポケットの改善が認められた
Schwarz ほか 2001 ⁵⁷⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・歯周炎患者 20 人 ・ERL vs CS	ED 14.5, 18.8 10pps	6 か月	レーザーの方が SRP より処置時間は短く、6 か月後にポケット減少量は SRP と同等で、BOP とアタッチメントレベルはレーザーのほうが有意に高い改善を示した
Schwarz ほか 2003 ⁵⁸⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・歯周炎患者 20 人 ・ERL vs CS	ED 14.5, 18.8 10 pps	2 年	レーザー治療の成績は 2 年後も維持された
Schwarz ほか 2003 ⁵⁹⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・歯周炎患者 20 人 ・ERL vs ERL + CS	ED 14.5, 18.8 10 pps	6 か月	レーザー治療後のキュレットによる追加のルートプレーニング処置は付加的効果がなかった
Schwarz ほか 2003 ⁷⁰⁾	・外科的治療 (根面および骨欠損のデブライドメント) ・RCT ・慢性歯周炎患者 22 人 ・ERL vs CS	ED 14.5 10 pps	6 か月	エムドゲインの応用において、レーザーによるデブライドメントは従来の機械的治療と同等の治療成績で有意差はなかった
Sculean ほか 2004 ⁶⁰⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・歯周炎患者 20 人 ・ERL vs US	ED 16.5, 24.7 10 pps	6 か月	レーザー治療は超音波スケーラーと同様な臨床的改善を示した
Sculean ほか 2004 ⁶⁰⁾	・外科的治療 (根面および骨欠損のデブライドメント) ・RCT ・慢性歯周炎患者 23 人 ・ERL vs CS + US	ED 14.5 10 pps	6 か月	レーザー治療と機械的治療では臨床的改善度に有意差はなかったが、Er:YAG レーザーは歯周外科治療に適した代替手段となるだろう
Tomasi ほか 2006 ⁶²⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・慢性歯周炎患者 20 人 (メンテナンス期) ・ERL vs US	ED 18.8 10 pps	4 か月	レーザー治療は、1 か月後に超音波より有意に高い臨床的改善を示したが、4 か月後には臨床的改善および細菌レベルは同程度であった。治療時の不快感はレーザーの方が少なかった
Crespi ほか 2007 ⁶¹⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・慢性歯周炎患者 25 人 ・ERL vs US	出力 160 mJ/pulse 10 pps	2 年	レーザー治療は術後 1, 2 年において超音波スケーラーより有意に高い臨床的改善を示した
Derdilopoul ほか 2007 ⁶³⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・慢性歯周炎患者 72 人 ・ERL, US, CS, SS	ED 14.5, 18.8 10 pps	6 か月	超音波スケーリングの方が、レーザー治療より細菌の減少度が大きく、レーザーより超音波治療の方が患者に好まれた
Gaspirc ほか 2007 ⁶⁹⁾	・外科的治療 (根面および骨欠損のデブライドメント) ・RCT, SM ・慢性歯周炎患者 25 人 ・ERL vs CS	出力 100-180 mJ/pulse 10-20 pps	5 年	レーザーは従来の機械的手段に比べて術後 3 年まで、有意に高い臨床的改善度(有意に大きいポケット深さの減少とアタッチメントゲインの増加)を示した
Lopes ほか 2008 ⁶⁴⁾	・非外科的治療(根面のデブライドメント) ・RCT, SM ・慢性歯周炎患者 21 人 ・CS + ERL, ERL, CS,	ED 12.9 10 pps	1 か月	Er:YAG レーザーは従来の機械的手段の補助として用いられるであろう

ERL: Er:YAG レーザー, ED:energy density (エネルギー密度, J/cm²/pulse), RCT:ランダム化比較試験, SM:スプリットマウスデザイン, CS:キュレット型スケーラー, SRP:スケーリング・ルートプレーニング, BOP:ブローピング時の出血, US:超音波スケーラー, SS:音波スケーラー。

の確立およびコンタクトチップの改良が必要である。一方で、斬新なアイデアとして、半導体レーザーを併用し歯石の蛍光放射を検出することにより、歯石の存在を判定しながら、歯石が存在する場合のみ Er:YAG レーザーが放射されるというフィードバックシステムを有するレーザー装置も開発されているが、その効果はまだ十分に検証されていない⁷¹⁾。また、レーザー照射根面と歯周組織の付着についても、今後、さらに詳細な組織学的検索が必要である。

従来の機械的処置だけでは、複雑な歯周ポケット内のデブライドメントや除菌には限界があると考えられる。レーザーを歯周ポケットに用いた場合、レーザーは根面だけでなく、ポケット内壁や骨面に対してもより確実な殺菌無毒化および感染組織の除去効果が期待され、さらに同時に周囲へ拡散する低出力レベルのレーザーによる効果(low level laser therapy: LLLT)は周囲細胞を刺激し(biostimulation, photo-bio-modulation: PBM)、組織の修復・再生能を高める可能性がある^{49,72-75)}。そのため、レーザーは単独あるいは従来の機械的治療に補助的に応用することにより、歯周ポケット全体に対してより包括的な治療を達成し、炎症の軽減や組織修復・再生に有利に作用する可能性があり、中等度から重度の歯周ポケットの非外科的および外科的治療においては、今後有効な手段の一つになるであろうと考えられる^{4,6,75)}。

また、新しいレーザーとして周波数2倍のアレキサンドライトレーザー(波長337nm)は、実験室レベルにおいて歯石や着色の完全な選択的除去が可能であり⁷⁶⁾、将来、光エネルギーを用いた歯の沈着物のより容易で効果的な除去が可能になると思われる。

7. 臨床応用上の注意および安全対策

レーザーは新しい治療器具として有用であるが、従来の機械的器具とは全く異なり非接触でも作用を及ぼすため、誤照射を起こす可能性があり、使用には特別な注意が必要である(表2)。

基本的に眼への誤照射に最も注意しなければならない。そのため、レーザー使用時には、患者、術者およびアシスタントの全員が、それぞれの波長に適した十分な OD 値(Optical density:光学濃度)を有する防護メガネを着用することが必須であり、デンタルミラーや金属冠からの反射光にも注意する必要がある^{4,77,78)}。

Er:YAG レーザーの場合には、表面吸収型のレーザーであるため²⁰⁾、基本的に照射部深部へのエネルギーの深達が少ない、予期せぬ熱傷害の危険が非常に少ないため臨床における安全性は高いが、それでも骨膜などへの熱影響には十分注意する必要がある。硬組織の蒸散においては、発熱を抑制するために、注水を必ず併用する必要がある。ただし、歯周ポケットの使用においては、冷却用のエアースプレーによりごくまれに皮下気腫を発生することがあるので、ポケット内照射を行う場合には、極力エアーを少なくするか、あるいはオフにするなどの配慮が必要である。外科手術での使用時には注水は滅菌生理食塩水に切り替える必要がある。

また、Er:YAG レーザーは歯質も蒸散するので、エナメル質上の歯石除去は禁忌であり、歯根面上の歯石の除去に用いる場合には、コンタクトチップを根面に対して常に平行あるいは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

表2 Er:YAG レーザーの歯石除去への臨床応用上の注意および安全対策

- ・ 防護眼鏡の着用による目の保護
- ・ 適切な照射条件の選択
 - 出力と繰り返しパルス数
- ・ 注水の併用
 - 適切な水量とエアー量
 - 非外科的治療ではエアーを少なくするか、オフにする(皮下気腫の防止)
- ・ 適切な照射手技の採用
 - 根面への平行あるいは斜め照射(根面歯質の過剰な蒸散の防止)
 - コンタクトチップを上下あるいは左右に動かす操作
- ・ エナメル質上の歯石除去は禁忌
- ・ レーザー照射時の蒸散物の的確な吸引操作
- ・ 誤照射の防止
 - フットペダルの確実な操作(不用意な踏み込みによる治療対象部以外への不慮の照射防止)
 - 金属修復物による反射の影響に対する注意
 - レーザー光の進行方向上にある対象組織への注意と必要に応じた周囲組織の保護あるいはレーザー光の遮断措置
- ・ 装置の安全管理責任者の設置と定期点検

いは左右に振る動作を用い、不適切な照射で過剰な損傷を起こさないよう注意する。さらに、ポケット内照射では、Er:YAG レーザーの場合にはその爆発的蒸散効果に伴いポケット内からの血液の飛散が起こりやすいため、フェイスガードの着用および的確なバキューム操作が必要で、さらに口腔外バキュームの併用が望ましい。

また、基本的事項として、コンタクトチップおよびハンドピースカバーのオートクレーブによる滅菌や、装置の安全管理責任者の設置および定期的なメンテナンスが不可欠である⁷⁸⁾。

レーザーの臨床使用においては、使用目的、使用方法および安全対策、さらに作用機序なども含めた知識と技術の習得が必須である⁶⁾。口腔内は解剖学的に複雑で、あらゆる組織がごく狭い範囲に近接しているため、照射部位により適切な照射方法、出力の設定が求められる。そのため、日本レーザー歯学会では、認定医制度を設置し、定期的に歯科用レーザーの安全に関する講習会を実施し、その安全で効果的な使用について啓蒙している⁷⁹⁾。

8. おわりに

歯周ポケット内での歯周病罹患根面の処置は、従来の機械的処置では到達度や除菌効果には限界があり、治療成績は技術に大きく左右され、時間のかかる処置である。新たな手段のひとつとして、レーザーの応用が期待され、Er:YAG レーザーによる歯石除去の効果と安全性、有効性については多くのエビデンスが得られ、非外科的および外科的治療において徐々に臨床応用されている⁶⁾。しかしながら、まだ、非外科治療において、レーザー単独療法におけるポケット内での歯石除去の達成度や治療後の長期経過、機械的治療との併用療法の効果に関して、従来の治療法との比較研究が少なく、レーザー治療の真の臨床有用性は十分に明確にされていない。今後、さらに多くのRCTによる臨床研究やそれに基づくシステマティック・レビューおよびメタアナリシスが必要である。

また、実際の臨床でのレーザーの使用においては、従来の機械的治療法をまず十分に習得した上で、レーザー光の有する硬組織・軟組織に対する効果、および科学的研究結果に基づくエビデンスを正しく理解し、正しい技術を持って常に慎重な態度で応用する必要がある。

文 献

- 1) Darveau RP, Tanner A, Page RC. The microbial challenge in periodontitis. *Periodontol* 2000 14: 12-32, 1997.
- 2) Cobb CM. Clinical significance of non-surgical periodontal therapy: an evidence-based perspective of scaling and root planing. *J Clin Periodontol* 29 Suppl 2: 6-16, 2002.
- 3) Oda S, Nitta H, Setoguchi T, Izumi Y, Ishikawa I. Current concepts and advances in manual and power-driven instrumentation. *Periodontol* 2000 36: 45-58, 2004.
- 4) Aoki A, Sasaki K, Watanabe H, Ishikawa I. Lasers in non-surgical periodontal therapy. *Periodontol* 2000 36: 59-97, 2004.
- 5) Cobb CM. Lasers in periodontics: a review of the literature. *J Periodontol* 77(4): 545-564, 2006.
- 6) Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA, Mizutani K, Sasaki KM, Izumi Y. Application of lasers in periodontics: true innovation or myth? *Periodontol* 2000 50: 90-126, 2009.
- 7) Kinersly T, Jarabak JP, Phatak NM, Dement J. Laser Effects on Tissue and Materials Related to Dentistry. *J Am Dent Assoc* 70: 593-600, 1965.
- 8) Pick RM, Colvard MD. Current status of lasers in soft tissue dental surgery. *J Periodontol* 64 (7): 589-602, 1993.
- 9) 石川和弘, 福田光男, 箕浦伸吾, 村瀬元康, 村瀬尚子, 黒須直子, 杉原信久, 野口俊英. Nd:YAG レーザーによる歯肉縁下歯石除去に関する基礎的研究. *日歯保存誌* 36(3): 902-909, 1993.
- 10) Arcoria CJ, Vitasek-Arcoria BA. The effects of low-level energy density Nd:YAG irradiation on calculus removal. *J Clin Laser Med Surg* 10 (5): 343-347, 1992.
- 11) Noguchi T, Sanaoka A, Fukuda M, Suzuki S, Aoki T. Combined effects of Nd:YAG laser irradiation with local antibiotic application into periodontal pockets. *J Int Acad Periodontol* 7(1): 8-15, 2005.
- 12) Tucker D, Cobb CM, Rapley JW, Killoy WJ. Morphologic changes following in vitro CO₂ laser treatment of calculus-laden root surfaces. *Lasers Surg Med* 18(2): 150-156, 1996.
- 13) Morlock BJ, Pippin DJ, Cobb CM, Killoy WJ, Rapley JW. The effect of Nd:YAG laser exposure on root surfaces when used as an adjunct to root planing: an in vitro study. *J Periodontol* 63(7): 637-641, 1992.
- 14) Hibst R, Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate.

- Lasers Surg Med 9(4): 338-344, 1989.
- 15) 茅野照雄, 落合 聡, 清野和夫, 山本 肇, 中島貞洋, 望月孝晏. Erbium:YAG レーザー照射ヒト抜去歯の病理組織学的変化について. 口病誌 56: 381-392, 1989.
- 16) Kumazaki M, Toyoda K. Removal of hard dental tissue (cavity preparation) with the Er:YAG laser. 日レ歯誌 6(1): 16-24, 1995.
- 17) 瀧澤雅一, 青木 聡, 高瀬保晶, 石川達也, 熊崎 護, 井上昌孝, 善入邦男, 藤井弁次, 長谷川絃司, 石川烈. Er:YAG レーザーの窩洞形成への応用と臨床評価. 日歯保存誌 38(4): 1035-1047, 1995.
- 18) Matsumoto K, Nakamura Y, Mazeki K, Kimura Y. Clinical dental application of Er:YAG laser for Class V cavity preparation. J Clin Laser Med Surg 14(3): 123-127, 1996.
- 19) Keller U, Hibst R. Effects of Er:YAG laser in caries treatment: a clinical pilot study. Lasers Surg Med 20(1): 32-38, 1997.
- 20) 加藤純二, 栗津邦男, 篠木 毅, 守谷佳世子. 一からわかるレーザー歯科治療. 医歯薬出版, 東京, 2003.
- 21) 青木 章, 安藤嘉則, 渡辺 久, 石川 烈. レーザーの歯周病罹患根面の処置への応用. 日レ歯誌 12(2): 109-117, 2001.
- 22) Zharikov EV, Zhecov VI, Kulevskii LA, Murina TM, Osiko VV, Prokhorov AM, Savel'ev AD, Smirnov VV, Starikov BP, Timoshechkin MI. Stimulated emission from Er^{3+} ions in yttrium aluminum garnet crystals at $\lambda=2.94 \mu$. Sov J Quantum Electron 4(8): 1039-1040, 1975.
- 23) Hale GM, Querry MR. Optical Constants of Water in the 200-nm to $200\text{-}\mu\text{m}$ Wavelength Region. Appl Opt 12(3): 555-563, 1973.
- 24) Niemz MH. Laser-Tissue Interaction. Fundamentals and Applications. Springer-Verlag, Berlin, 1996, 64-65.
- 25) Walsh JT, Jr., Flotte TJ, Deutsch TF. Er:YAG laser ablation of tissue: effect of pulse duration and tissue type on thermal damage. Lasers Surg Med 9(4): 314-326, 1989.
- 26) Burkes EJ, Jr., Hoke J, Gomes E, Wolbarsht M. Wet versus dry enamel ablation by Er: YAG laser. J Prosthet Dent 67(6): 847-851, 1992.
- 27) Aoki A, Miura M, Akiyama F, Nakagawa N, Tanaka J, Oda S, Watanabe H, Ishikawa I. In vitro evaluation of Er:YAG laser scaling of subgingival calculus in comparison with ultrasonic scaling. J Periodont Res 35(5): 266-277, 2000.
- 28) Aoki A, Ishikawa I, Yamada T, Otsuki M, Watanabe H, Tagami J, Ando Y, Yamamoto H. Comparison between Er:YAG laser and conventional technique for root caries treatment in vitro. J Dent Res 77(6): 1404-1414, 1998.
- 29) Fujii T, Baehni PC, Kawai O, Kawakami T, Matsuda K, Kowashi Y. Scanning electron microscopic study of the effects of Er:YAG laser on root cementum. J Periodontol 69(11): 1283-1290, 1998.
- 30) Koort HJ, Frentzen M. Laser effects on dental hard tissue. In: Miserendino LJ, Pick RM, eds. Lasers in Dentistry, Quintessence Publishing Co, Inc., Chicago, ; 1995, 57-70.
- 31) Seka W, Featherstone JDB, Fried D, Visuri SR, Walsh JT. Laser ablation of dental hard tissue: from explosive ablation to plasma-mediated ablation. Proc SPIE 2672: 144-158, 1996.
- 32) Aoki A, Ando Y, Watanabe H, Ishikawa I. In vitro studies on laser scaling of subgingival calculus with an erbium: YAG laser. J Periodontol 65(12): 1097-1106, 1994.
- 33) Folwaczny M, Mehl A, Haffner C, Benz C, Hickel R. Root substance removal with Er:YAG laser radiation at different parameters using a new delivery system. J Periodontol 71(2): 147-155, 2000.
- 34) Frentzen M, Braun A, Aniol D. Er:YAG laser scaling of diseased root surfaces. J Periodontol 73(5): 524-530, 2002.
- 35) Schwarz F, Sculean A, Berakdar M, Szathmari L, Georg T, Becker J. In vivo and in vitro effects of an Er:YAG laser, a GaAlAs diode laser, and scaling and root planing on periodontally diseased root surfaces: a comparative histologic study. Lasers Surg Med 32(5): 359-366, 2003.
- 36) Ting CC, Fukuda M, Watanabe T, Aoki T, Sanaoka A, Noguchi T. Effects of Er,Cr:YSGG laser irradiation on the root surface: morphologic analysis and efficiency of calculus removal. J Periodontol 78(11): 2156-2164, 2007.
- 37) Sonntag KD, Klitzman B, Burkes EJ, Hoke J, Moshonov J. Pulpal response to cavity preparation with the Er:YAG and Mark III free electron lasers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 81(6): 695-702, 1996.
- 38) 青木 章, 石川 烈. Er:YAG レーザーの歯石除去への応用. 歯科ジャーナル 39(3): 279-287, 1994.
- 39) Folwaczny M, Thiele L, Mehl A, Hickel R. The effect of working tip angulation on root substance removal using Er:YAG laser radiation: an in vitro study. J Clin Periodontol 28(3): 220-226, 2001.
- 40) Eberhard J, Ehlers H, Falk W, Acil Y, Albers HK, Jepsen S. Efficacy of subgingival calculus removal with Er:YAG laser compared to mechanical debridement: an in situ study. J Clin Periodontol 30(6): 511-518, 2003.
- 41) Israel M, Cobb CM, Rossmann JA, Spencer P. 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): 595-602, 1997.
- 42) Sasaki KM, Aoki A, Masuno H, Ichinose S, Yamada S, Ishikawa I. Compositional analysis of root cementum and dentin after Er:YAG laser irradiation compared with CO₂ lased and intact roots using Fourier transformed infrared spectroscopy. *J Periodont Res* 37(1): 50-59, 2002.
- 43) Spencer P, Cobb CM, McCollum MH, Wieliczka DM. The effects of CO₂ laser and Nd:YAG with and without water/air surface cooling on tooth root structure: correlation between FTIR spectroscopy and histology. *J Periodont Res* 31(7): 453-462, 1996.
- 44) Ando Y, Aoki A, Watanabe H, Ishikawa I. Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria. *Lasers Surg Med* 19(2): 190-200, 1996.
- 45) Yamaguchi H, Kobayashi K, Osada R, Sakuraba E, Nomura T, Arai T, Nakamura J. Effects of irradiation of an erbium:YAG laser on root surfaces. *J Periodontol* 68(12): 1151-1155, 1997.
- 46) 杉 大介, 福田光男, 箕浦伸吾, 山田泰生, 多湖 準, 三輪晃資, 野口 隆, 中島一総, 祖父江尊範, 野口俊英. Er:YAG レーザー照射による歯石除去後のセメント質内エンドトキシン量および表面硬度に関する研究. *日歯保存誌* 41(6): 1009-1017, 1998.
- 47) Akiyama F, Aoki A, Miura-Uchiyama M, Sasaki KM, Ichinose S, Umeda M, Ishikawa I, Izumi Y. In vitro studies on the ablation mechanism of periodontopathic bacteria and decontamination effect on periodontally-diseased root surfaces by Er:YAG laser. *Lasers Med Sci* 25: 2010 (in press).
- 48) Sekine Y, Ebihara A, Takeda A, Suda H. Pulpal reaction in dog following cavity preparation by Er:YAG laser. *Proc SPIE* 1984: 159-167, 1995.
- 49) Mizutani K, Aoki A, Takasaki AA, Kinoshita A, Hayashi C, Oda S, Ishikawa I. Periodontal tissue healing following flap surgery using an Er:YAG laser in dogs. *Lasers Surg Med* 38(4): 314-324, 2006.
- 50) Schwarz F, Aoki A, Sculean A, Georg T, Scherbaum W, Becker J. In vivo effects of an Er:YAG laser, an ultrasonic system and scaling and root planing on the biocompatibility of periodontally diseased root surfaces in cultures of human PDL fibroblasts. *Lasers Surg Med* 33(2): 140-147, 2003.
- 51) Feist IS, De Micheli G, Carneiro SR, Eduardo CP, Miyagi S, Marques MM. Adhesion and growth of cultured human gingival fibroblasts on periodontally involved root surfaces treated by Er:YAG laser. *J Periodontol* 74(9): 1368-1375, 2003.
- 52) Belal MH, Watanabe H, Ichinose S, Ishikawa I. Effect of Er:YAG laser combined with rhPDGF-BB on attachment of cultured fibroblasts to periodontally involved root surfaces. *J Periodontol* 78(7): 1329-1341, 2007.
- 53) Maruyama H, Aoki A, Sasaki KM, Takasaki AA, Iwasaki K, Ichinose S, Oda S, Ishikawa I, Izumi Y. The effect of chemical and/or mechanical conditioning on the Er:YAG laser-treated root cementum: analysis of surface morphology and periodontal ligament fibroblast attachment. *Lasers Surg Med* 40(3): 211-222, 2008.
- 54) Schwarz F, Jepsen S, Hertel M, Aoki A, Sculean A, Becker J. Immunohistochemical characterization of periodontal wound healing following nonsurgical treatment with fluorescence controlled Er:YAG laser radiation in dogs. *Lasers Surg Med* 39(5): 428-440, 2007.
- 55) 渡辺 久, 青木 章, 安藤嘉則, 石川 烈, 鈴木基之, 小杉禎久, 星 政和, 長谷川紘司, 石川達也, 藤井弁次. Erbium:YAG レーザーの軟組織外科手術, スケーリングおよび窩洞形成への応用と臨床評価. *日歯保存誌* 38(5): 1168-1179, 1995.
- 56) Watanabe H, Ishikawa I, Suzuki M, Hasegawa K. Clinical assessments of the erbium:YAG laser for soft tissue surgery and scaling. *J Clin Laser Med Surg* 14(2): 67-75, 1996.
- 57) Schwarz F, Sculean A, Georg T, Reich E. Periodontal treatment with an Er:YAG laser compared to scaling and root planing. A controlled clinical study. *J Periodontol* 72(3): 361-367, 2001.
- 58) Schwarz F, Sculean A, Berakdar M, Georg T, Reich E, Becker J. Periodontal treatment with an Er:YAG laser or scaling and root planing. A 2-year follow-up split-mouth study. *J Periodontol* 74(5): 590-596, 2003.
- 59) Schwarz F, Sculean A, Berakdar M, Georg T, Reich E, Becker J. Clinical evaluation of an Er:YAG laser combined with scaling and root planing for non-surgical periodontal treatment. A controlled, prospective clinical study. *J Clin Periodontol* 30(1): 26-34, 2003.
- 60) Sculean A, Schwarz F, Berakdar M, Romanos GE, Arweiler NB, Becker J. Periodontal treatment with an Er:YAG laser compared to ultrasonic instrumentation: a pilot study. *J Periodontol* 75(7): 966-973, 2004.
- 61) Crespi R, Cappare P, Toscanelli I, Gherlone E, Romanos GE. Effects of Er:YAG laser compared to ultrasonic scaler in periodontal treatment: a 2-year follow-up split-mouth clinical study. *J Periodontol* 78(7): 1195-1200, 2007.

- 62) Tomasi C, Schander K, Dahlen G, Wennstrom JL. Short-term clinical and microbiologic effects of pocket debridement with an Er:YAG laser during periodontal maintenance. *J Periodontol* 77 (1): 111-118, 2006.
- 63) Derdilopoulou FV, Nonhoff J, Neumann K, Kielbassa AM. Microbiological findings after periodontal therapy using curettes, Er:YAG laser, sonic, and ultrasonic scalers. *J Clin Periodontol* 34(7): 588-598, 2007.
- 64) Lopes BM, Marcantonio RA, Thompson GM, Neves LH, Theodoro LH. Short-term clinical and immunologic effects of scaling and root planing with Er:YAG laser in chronic periodontitis. *J Periodontol* 79 (7): 1158-1167, 2008.
- 65) Romanos GE. Re: Lasers in periodontics: a review of the literature. Cobb CM (2006; 77: 545-564). *J Periodontol* 78 (4): 595-7; author reply 597-600, 2007.
- 66) Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA. Clinical application of erbium:YAG laser in periodontology. *J Int Acad Periodontol* 10(1): 22-30, 2008.
- 67) Schwarz F, Aoki A, Becker J, Sculean A. Laser application in non-surgical periodontal therapy: a systematic review. *J Clin Periodontol* 35 (Suppl. 8): 29-44, 2008.
- 68) Sculean A, Schwarz F, Berakdar M, Windisch P, Arweiler NB, Romanos GE. Healing of intrabony defects following surgical treatment with or without an Er:YAG laser. *J Clin Periodontol* 31 (8): 604-608, 2004.
- 69) Gaspirc B, Skaleric U. Clinical evaluation of periodontal surgical treatment with an Er:YAG laser: 5-year results. *J Periodontol* 78 (10): 1864-1871, 2007.
- 70) Schwarz F, Sculean A, Georg T, Becker J. 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(11): 975-981, 2003.
- 71) Schwarz F, Bieling K, Venghaus S, Sculean A, Jepsen S, Becker J. Influence of fluorescence-controlled Er:YAG laser radiation, the Vectortrade mark system and hand instruments on periodontally diseased root surfaces in vivo. *J Clin Periodontol* 33 (3): 200-208, 2006.
- 72) 安孫子宣光. レーザー照射の生物学的効果の解明と機能ゲノム科学. *日レ医誌* 25(4): 313-322, 2005.
- 73) Pourzarandian A, Watanabe H, Ruwanpura SM, Aoki A, Ishikawa I. Effect of low-level Er:YAG laser irradiation on cultured human gingival fibroblasts. *J Periodontol* 76(2): 187-193, 2005.
- 74) Aleksic V, Aoki A, Iwasaki K, Takasaki AA, Wang C-Y, Abiko Y, Ishikawa I, Izumi Y. Low-level Er:YAG laser irradiation enhances osteoblast proliferation through activation of MAPK/ERK. *Lasers Med Sci* 25(4): 559-569, 2010.
- 75) Izumi Y, Aoki A, Yamada Y, Kobayashi H, Iwata T, Akizuki T, Suda T, Nakamura S, Wara-aswapati N, Ueda M, Ishikawa I. Current and future periodontal tissue engineering. *Periodontol* 2000: 2010 (in press).
- 76) Rechmann P. Dental laser research: selective ablation of caries, calculus, and microbial plaque: from the idea to the first in vivo investigation. *Dent Clin North Am* 48(4): 1077-1104, 2004.
- 77) AAP. The Research, Science and Therapy Committee of the American Academy of Periodontology: Lasers in periodontics (Academy report), authored by Cohen RE and Ammons WF, revised by Rossman JA. *J Periodontol* 73 (10): 1231-1239, 2002.
- 78) 永井茂之. 歯科用レーザーの安全管理とは?. *日レ歯誌* 19(3): 145-150, 2008.
- 79) 日本レーザー歯学会ホームページ. <http://jsld.jp/> (Accessed 2010.03.03)