歯科保存学領域へのレーザー応用—その可能性を考える

Application of laser in restorative dentistry, endodontology and periodontology

庄司 茂
Shigeru SHOJI

東北大学歯学部歯科保存学第1講座
〒980 仙台市星陵町4-1
022-274-1111 (3254)

Department of endodontics and periodontics,
Tohoku University, School of Dentistry,
4-1 Seiryō-machi, Sendai, 980 JAPAN

総説

Maiman が1960年にルビーレーザーの発振に始めて成功した。その翌年には、レーザー光は、眼科領域で、網膜剥離に対する光凝固療法の重要な光源として臨床的に位置づけられ、現在に至っている。また、レーザーメスとしてCO₂レーザーやNd:YAGレーザーが、電気メスとの併用などにより、一応の評価を得ている。そして、アルゴンレーザー光とヘマトポルフィリンによる癌光化学治療など、癌に対する診断・治療がレーザー光の可能性として、医科において注目されている。

一方、歯科においては、1964年にGoldmanが、レーザー光の加工性に着目し、ルビーレーザー光のfocused beamでエナメル質に穴をあけ、レーザー光による窩洞形成の可能性に大きな期待が掛けられた。しかし、レーザー光を狭い口腔内に導光する技術的問題や、エナメル質や象牙質を形成する際の出力のコントロールが難しいこと、そして、高出力に対する安全性など、多くの問題をかかえていることが、種々の実験を進めていく過程で判明しレーザー光による窩洞形成は実現しなかった。しかし、1964年、Sternがヒト抜去歯のエナメル質に、ルビー・レーザーを照射し耐酸性が向上することを発表して以来、歯科の二大疾患の1つであるウ蝕予防の

大きな武器になるのではないかと考えられた。その後、単にエナメル質のみではなく、象牙質、セメント質、歯髓組織などの“歯”そのものだけでなく、歯面の沈着物への照射など、レーザー光の歯科的応用の可能性への探求が、Goldman以来23年間にわたって行われてきた。

ここでは、これまでの研究に対し、歯科保存学領域への臨床応用の可能性の有無を、実際の治療室での実用を考慮し、さらに価格の面からの検討を加えながら考察してみた。

I. 保存修復学領域

レーザー光による窩洞形成は実用化されなかった。従って、現在臨床応用が考えられる分野としてフィッシャー・シーラントと充填物の辺縁封鎖の二つが考えられる。
(1) フィッシャー・シーラント

1966年に炭酸ガスレーザーを用いてエナメル質の耐酸性の向上をはかったStern & Sognnaes¹⁾以来、日本でもNd-YAGレーザーを中心として、山本²⁾や森岡³⁾らが研究を進め、また神山⁴⁾らは小児患者への臨床応用を行っている。彼らは、エナメル質表面に、レーザー光の吸収を目的として黒色剤を塗布した後にレーザー光を照射している。しかし、咬合面の裂溝は複雑で凹凸

があり、しかも、2mm 前後の深さがあるため、光であるレーザー光が到達できない部位も生じる。

一方、フィッシャーシーライト材としては、現在グラスアイオノマーセメントと、流動性の良いコンポジットレジンが用いられている。特に、コンポジットレジンでは最近のエッチング剤やボンディング剤の発達でエナメル質との接着性が飛躍的に向上してきているため、フィッシャーシーラント材としてその効果が期待でき、価格や操作性そして保険に適用されていることから、広く臨床応用されている。ただ、レジンやセメントを填塞する前にも、咬合面の小窩裂溝をブラシコーンなどで清掃するが、完全には沈着物(微生物を含む)を除去できない。このことは、レジンやセメントの下でのウ蝕の発生を引き起こす可能性がある。

深達性のレーザー光によって、これまでレーザー照射によって得られてきた耐酸性向上の効果に加え、小窩裂溝内の微生物を焼灼してしまうことが可能ならば、咬合面ウ蝕や隣接面ウ蝕の防止にも役立つと思われる。現在用いられている Nd:YAG レーザーでは出力 10W、照射時間 0.6~0.8 秒と高エネルギーであるため高価となり、ため、レーザー光発生装置も一千万円以上であるため、レーザー光発生装置は一千万円以上である。しかし、ウ蝕予防効果、操作性そして安全性が確立されれば、三才児へのサホライド塗布と同様に、各保険所での乳歯へのレーザー照射、学校検診での幼若永久歯へのレーザー照射などと、使用台数が増加すれば、発生装置の低価格化は十分可能と考えられる。

従って、今後は、歯面に黒色塗布剤を用いてエナメル質表面にのみ耐酸性を付与するのではなく、エナメル質内部にも変化を生じさせ耐酸性が向上するような、深達性のあるレーザーの探究・開発が必要なのではないかと思われる。

(ii) 充填物の辺縁封鎖

レーザーを充填物とエナメル質の境界に照射し、辺縁封鎖性を向上させるとともに、エナメル質にも耐酸性を付与し、二次ウ蝕の発生を防止しようと、種々の研究が行われている。

充填材として、金属(金合金やアマルガム)は、レーザーが光であることから、補綴領域でのレーザー溶接と違い、歯質との融合の可能性は低いと思われる。酸化亜鉛やケイ酸塩を主成分とするセメント類も歯質との融合は考えられない。

現在、最も期待されるのはレジンで、特に光重合型コンポジットレジンである。この種のレジンは、最近特に改良が進み前歯用のみならず臼歯用も開発され、可視光

線重合型レジンが広く臨床応用されている。このレジンの光増感剤として、473nm に吸収ピークを持つ dl-カンファーキノンが用いられている。dl-カンファーキノンは 430nm から 490nm にのみ吸収を示すので、それ以外の波長は硬化に役立たない。

この波長域で発振するレーザーとして、久光⁵⁾らは、窒素励起色素レーザーを用いて、レーザー照射によるレジンの硬化深度を測定し、充分臨床応用可能な深度が得られている。

従って、レーザーによる辺縁封鎖の可能性を有するレジンとしては、

①あらゆる波長のレーザー光を吸収する黒色系のレジン

②dl-カンファーキノンなどの、特定の吸収域を示す光増感剤を含むレジン

の2種類が考えられる。

黒色系のレジンでは、あらゆるレーザーに反応すると思われるが、エナメル質に耐酸性を与える程のレーザーを照射すれば、かなりの熱が発生し、レジンそのものの物性が劣化すると考えられる。

窒素励起色素レーザーを用いた久光らは、その出力が 300~700 mW と低出力であったため、レジンの硬化は十分であったが、エナメル質への耐酸性の付与は期待できない。ただ、我々⁶⁾の行った実験で、化学重合型レジンではあったが、10 J/cm² (10W-0.1 秒間: defocuse) で、レジンにはほとんど変化を与えず、耐酸性を与えることができたことから、今後、dl-カンファーキノン以外の光増感剤が開発されれば、エナメル質に耐酸性を付与可能なレーザーも開発されると思われる。

II. 歯内療法学領域

対象とするものが、エナメル質や象牙質などの硬組織のみならず歯髄や根尖歯周組織などの軟組織も含まれる。レーザーが生体に作用する様式として光化学的作用、電磁的作用そして熱作用の3種が関係すると思われる。

この領域では、歯の痛みの発生で大きな比重を占める歯髄に対するレーザー光の影響を中心にレーザー応用の可能性を考えてみたい。

(i) 歯髄組織

1. 治癒促進(修復象牙質の形成)

低出力のアルゴンレーザーや炭酸ガスレーザー照射により、創傷の治癒が促進することが Shinoki⁷⁾や古内⁸⁾らによって報告されている。従って、間接覆髄剤として現在用いられている、酸化亜鉛-ユージオールセメントに変えてレーザーを照射すると、修復象牙質が形成さ

れることは十分考えられる。このことは、長澤⁹⁾が、アルゴンレーザーをラット臼歯に照射した後、歯髄内各所に二次象牙質の形成が見られ数ヶ月のうちに歯髄内を完全に埋めつくすと報告している。さらに進めて考えると、歯髄炎に罹患した歯に対し、麻酔、髄腔開拓、根管拡大そして根管充填などといった複雑な処置を行わずに無痛的にレーザーを照射し、複雑な根管内の歯髄組織を石灰化させ得る可能性がある。

しかし、石灰化が象牙芽細胞による修復象牙質なのかあるいは石灰変性なのか、また、石灰化物は歯髄腔内を完全に埋めつくし残髄炎が生じる可能性がないのかなどまだ研究されなければならない問題が残されており、従来の方法に取って変わるまでには多くの時間が必要と思われる。

ロ. 歯髄の切断(レーザーメスとして)

小児歯科領域で広く行われている生活断髄、そして成人においても安易に歯髄を完全に除去することなくできるだけ残すことを目的とした直接覆髄が注目を集めている。従来、歯髄切断面や露髄面には、水酸化カルシウム製剤が用いられてきた。水酸化カルシウム製剤は、貼布部位に dentin bridge を形成するなどの利点がある。しかし、同剤に接する部分にできる壊死層の幅が広いことなどから、最近、dentin bridge は形成しないが貼薬部位に薄い歯髄凝固層を作るホルマリン・グアヤコールやグルタルアルデヒドが臨床応用されている。

レーザーメスは、非接触性にしかも無圧的に歯髄を切断(生体組織の凝固)できる。我々¹⁰⁾は炭酸ガスレーザーを、松本¹¹⁾らは Nd:YAG レーザーを用いて研究を行っている。しかし、狭い口腔内での操作性に問題があったり、歯髄組織の熱凝固層や変性層の大きさなどにも問題があり、従来の方法を凌ぐまでにはいたらない。今後可能性が残されているのは、ファイバー(まだ開発途中)に導光された出力の小さい炭酸ガスレーザーで、十分に照射を絞れるものが待たれる。

ハ. 根管治療

抜髄において、ファイバーに導光したレーザーにより根管内の歯髄組織を気化蒸散させ、根尖狭窄部までの歯髄除去を完全に行うという夢は残されているが、炭化層が生じないのか、根尖孔外の歯周組織に対する影響といった問題がある。ただ、長澤は感染根管壁の消毒用レーザープローベを開発し、根管の消毒に用いている。リーミングやファイソングの消毒法として、レーザーは光であるためその到達性で、ホルマリン・クレゾールなどのガス性のものに劣るのではないかと考えられる。

一方、根尖病巣の治癒促進のため、骨折に対する電気

治療と同様に、レーザーの電磁作用による磁場を形成し造骨機能の促進を計る研究もある。しかし根管内が完全に根管充填可能ならレーザー照射は必要ないと思われる。

ニ. 鎮痛効果(象牙質知覚過敏症に対し)

レーザー照射による鎮痛効果について、松本らや西山¹²⁾が報告している。適応症とされている中でも、象牙質知覚過敏症は確実な治療法が見出されていないため、切削などの処置を必要とせず、ただ患部付近にレーザーを照射するだけの治療法は、臨床家にも注目されている。しかし、象牙質知覚過敏症は実験的に惹起できず、しかも、疼痛の感じ方は個体差が大きい。従って、この種の研究では多くの症例数とともに、ダブル・ブラインドテストが絶対に必要である。

我々は、GaAlAs 半導体レーザー (30mW) とともに、象牙質知覚過敏症に効果を有すると思われる He-Ne レーザー (5mW) を用いて臨床実験を行った。ダブルブラインドテストで行うために2つのマニピュレーターのうち、一方から He-Ne レーザー、そしてもう一方からは He-Ne レーザーと同じ赤色光が発生する装置を用いた。尚、発光中は両者ともブザーが鳴り続ける。照射は、60秒間で2回連続で行った。

症例数が16例(He-Ne: 10例, プラセボ: 6例)と少ないが、He-Ne レーザーを照射した症例では3例で著効を示し、無効は1例でほとんどの症例で症状の改善が見られた。一方、プラセボでは著効例は見られなかったものの半数で症状の改善が見られた。このことから、一般の人のレーザー光=魔法の光といった認識や、ブザーの発振音、担当医の治療努力への信頼や感謝といったプラセボ効果が誘因として考えられるけれども、He-Ne レーザー照射は象牙質知覚過敏症に効果を有すると思われる。

この理由としては、松本らは、レーザー照射によって生じる電磁波が神経線維の膜の透過性に関与する K^+ や Na^+ のイオン透過性に影響を与えることにより、神経伝導を抑制するの、あるいは、中枢側レセプターにおいて、誘発痛の抑制が生じるのではないかと推論している。ただ、GaAlAs 半導体レーザーを直接坐骨神経に照射し、誘発活動電位の波形の変化を見た亀井¹³⁾によれば、半導体レーザー照射では変化は見られなかった。また、レーザー照射による創傷治癒促進を見た田口¹⁴⁾は直線偏光の2成分である左・右円偏光を各々取り出し、右円偏光のみに創傷治癒効果があるという印象を持ち、この事実と生体活性化に興味を持っている。さらに、我々の行った He-Ne レーザーによる象牙質知覚過敏症へ

の照射において、著効を示した3例のうち2例で、軽い温感を訴えていることや、効果の発現が速いこと、そして、Arndt-Schulzの法則「生体に与えられた刺激は、弱ければ生体の生理反応を助長し、強い刺激は生体反応を抑制し、過度の刺激は生体反応を停止される」などを考えあわせると、少くともレーザー照射による象牙質知覚過敏症に対する効果の作用機序として、レーザーによる照射部位のわずかな温度上昇、あるいは、電磁作用による象牙芽細胞そのものへの加温などによって生じた象牙芽細胞の形態的变化による、象牙細管内液の移動の移動につながったのではないと思われる。まだ、作用機序は判明していないが、この分野の研究は興味あるものであり更なる発展が望まれる。

ホ. 消毒(リーマーなどの小器具)

芽胞を形成する耐熱性細菌が付着したリーマーに対し10Wの炭酸ガスレーザーを3秒間照射した Hooks¹⁵⁾らの研究では、細菌は完全に死滅した。この理由として、遠赤外線と菌体との反応によって生じる熱による直接的作用が考えられる。

従って、最近関心が高まっている、肝炎やエイズなどのウィルスを含んだ血液や唾液が付着したバーやリーマーの消毒法として、価格の面を除けば非常に簡便で確実な方法ではないかと思われる。

Ⅲ. 歯周病学領域

イ. 歯面沈着物の除去

歯垢、歯石そして色素沈着物などに現在、ブラシや超音波スケーラーそして酸化亜鉛などの吹付け除去器などが用いられている。これらは価格の面を含め、臨床で使用するのに充分であり、広く普及している。

レーザーによる歯石除去などは経費の面で問題となるが、縁上歯石はレーザー照射によりエナメル質表面からはげ落ち、縁下歯石は削り取られる感があることを森岡¹⁶⁾らは報告している。

ロ. 罹患セメント質への応用

歯周疾患の治療、特に歯肉剥離掻爬術などの手術後に期待される、歯肉と歯根の付着に大きな影響を与えると考えられているのが、罹患セメント質に含まれる内毒素(エンドトキシン)である。この毒素はセメント質表層3分の1にしかないことや、セメント質はできるだけ残した方が再付着に良いと考えられ、刃先の鈍ったスケーラーで根面をルート・プレーニングすることが考えられている。間世田¹⁷⁾らは、30J/cm²のNd:YAGレーザーを照射することにより、エンドトキシンを不活化できることを報告している。

縁下歯石と同様に、レーザー照射により罹患セメント質を一層削除でき、エンドトキシンを不活化できるなら歯周治療における重要な治療法となり得る可能性がある。ただ、レーザー照射により、セメント質中の有機質の焼失や、ハイドロキシアパタイトの結晶の変化が、付着にどのような影響を与えるかなどの研究が今後必要と思われる。

Ⅳ. まとめ

1980年に東京で開かれた第一回日本レーザー医学会での参加者の熱気は、大学関係者のみならず企業人にも感じられ、レーザー応用の領域が無限に広がっているように思えた。

しかし、種々の研究が進むにつれて、レーザー応用法が、従来の方法に比較して、効果、操作性そして価格などの面で問題を有していることが判明してきた。ただ、光産業振興会が昭和62年5月20日に発表した、レーザーの昭和61年度国内需要報告と、昭和66年度の国内需要予想を見てみると、医用レーザー装置で眼科用レーザー治療機は、S61年が130台、S66年が2,100台、外科用レーザー治療機はS61年が85台、S66年が1,700台、内科用レーザー治療機は、S61年が40台、S66年が200台と見込まれている。

このことから解るように、歯科においても医科同様急激な発展は望めないが、夢を描きながら、基礎的な研究を着実にやっていく必要があると思われる。

文献

1. Stern, R.H., Sognnaes, R.F., Goodman, F.: Laser effect on in vitro enamel permeability and solubility, J.A.D.A., 73: 838-843, 1966.
2. 山本 肇: レーザーと歯科医学の未来, 歯界展望, 68: 167-170, 1986.
3. 森岡俊夫, 鈴木和雄: レーザーによる齶触予防(上), 歯界展望, 62: 529-537, 1983.
4. 森岡俊夫編: レーザー歯学, 98-117, 医歯薬出版, 1986.
5. 久光 久: レジン重合用可視光線照射器, 歯科ジャーナル, 25: 471-487, 1987.
6. Shoji, S. et. al.: Change of boundary between dental enamel and restorative materials caused by Nd:YAG laser irradiation, J. Jap. Soc. Laser Med., 4: 265-266, 1984.

7. Shinoki, K. et. al. : Application of low output laser to the adhesion of skin, J. Jap. Soc. Laser Med., 4 : 185-186, 1984.
8. 古内泰生 : 低出力炭酸ガスレーザーの創傷治癒に与える影響に関する実験的研究, 日口外誌, 33 : 1~13, 1987.
9. 長澤明範ほか : レーザー照射に伴う歯髄組織の反応性変化とその基礎的検討について, 日本レーザー医学会誌, 5 : 413-416, 1985.
10. Shoji, S., Nakamura, M., Horiuchi, H. : Histopathological changes in dental pulps irradiated by CO₂ laser ; a preliminary report on laser pulpotomy, J. Endodont., 11 : 379-384, 1985.
11. 松本光吉 : 歯髄処置とレーザー, 歯科ジャーナル, 25 : 489-497, 1987.
12. 西山俊夫 : ソフトレーザーの歯科的応用と問題点, 日歯医誌, 38 : 693-699, 1985.
13. 亀井達哉ほか : 低出力レーザーのラット坐骨神経におよぼす影響, 第40回日本口腔科学会抄録集, 1986.
14. 田口喜雄ら : 低出力レーザーの医学応用, BME, 1 : 518-522, 1987.
15. Hooks, W.T. et. al. : Use of the carbon dioxide laser in sterilization of endodontics reamers, Oral Surg., 49 : 263-265, 1980.
16. 森岡俊夫編 : レーザー歯学, 77-98, 医歯薬出版, 1986.
17. 問世田勇作, 森岡俊夫 : 細菌性内毒素の生物学的活性に対する Nd-YAG レーザーの影響について, 日本口腔衛生学会九州地方会, 宮崎(1985).