歯内療法におけるレーザーの臨床応用

—過去・現在そして未来を見つめて—

庄 司 茂

東北大学大学院歯学研究科歯内歯周治療学分野

(受付 : 2015 年 11 月 24 日, 受理 : 2015 年 11 月 30 日)

Clinical Application of Laser to Treat the Endodontic Disease

Shigeru SHOJI

Department of Endodontics and Periodontics, Tohoku University Graduate School of Dentistry

(Received: November 24, 2015, Accepted for Publication: November 30, 2015)

Abstract: The first Japanese laser textbook was published in 1986, covering all medical and dental areas. I was responsible for clinical laser application related to conservative and periodontal treatment.

This study compares the laser treatment situation between 30 years ago and now for conservative and periodontal treatment.

It is not clear whether laser pulpotomy is available, but laser irradiation has been used to treat dentin hypersensitivity for the last three decades.

Lasers are now used to disinfect and enlarge the root canal dentin using a cone-shaped crystal fiber. Especially, Er:YAG laser and Er,Cr:YSGG laser using radial emitting tips could be valuable tools for root canal disinfection.

The irradiation conditions of laser treatment have been clearly established, but laser treatment is not used for specialized diseases.

We hope that new types of laser approved by the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare will be developed and used.

(J. Jpn. Soc. Laser Dent. 26 : 111 ~ 119, 2015 Reprint requests to Dr. SHOJI)

Key words = Laser, endodontics, clinical approach

キーワード=レーザー, 歯内療法, 臨床応用

はじめに

日本で最初にレーザー歯学の教科書が刊行された¹⁾のは、1986 年であった。編集責任者は本学会第二代の理事長を務められた森岡俊夫九州大学名誉教授で、内容はレーザー光の基礎から臨床 (医学・歯学), そして安全なレーザーの取扱い方法と、レーザーに関する全項目が網羅された教科書であった。

私は、「保存・歯周病科領域におけるレーザーの応用」を担当し、歯内療法に関する項目としては表 1 に示した内容で記述した。これらの項目が 30 年経過して、現在はどの様になっているかを検証し、その検証を踏まえた今後の応用について述べる。

1. 歯髄への直接作用

1) レーザー光の違いによる変化

1986 年当時に歯科で臨床応用可能であったレーザーは、当時 YAG レーザーと呼ばれていた Nd:YAG レーザー (Er:YAG レーザーは開発もされていなかった) と炭酸ガスレーザー、そして He-Ne レーザーや半導体レーザー (Ga-Al-As) であった。この他に、アルゴンレーザーも基礎的研究は行われていたものの、歯科での臨床応用はなかった。この時代は、医科を含め、血液や組織が持つ吸収特性を足掛かりにして、その特性に合ったレーザーを探し求めている時代であった。

そして、この時には、歯髄組織へのレーザー直接照射を

表 1 1986 年におけるレーザーの歯内療法への応用

1. 歯髄への直接作用
1) レーザー光の違いによる変化
2) レーザー断髄
3) 修復象牙質形成促進
4) 歯髄の疼痛抑制 (麻酔) 作用
5) 象牙質知覚過敏症への応用
(1) 象牙細管の閉塞
(2) 歯髄組織への直接作用
2. 根管内象牙質への照射
3. 外科的応用 (根尖病巣に対して)
4. リーマーの殺菌・消毒
5. 歯髄内血流測定
6. 感染根管の分光分析

比較するといった基礎的研究も行われていなかった。

2) レーザー断髄

我々は、1985 年に炭酸ガスレーザーを用いて犬の歯髄での生活断髄実験を発表した²⁾。その内容は、断髄直後は表層に軽度の炎症組織を覆うように薄い変性層が出来るものの、レーザー照射熱が周囲象牙質に吸収されたために、一週間後の病理組織像では、熱の影響による血管拡張や好中球浸潤等の高度な炎症像が見られた。

1996 年に断髄前に He-Ne レーザー照射し、水酸化カルシウムを塗布するによって底蓋硬組織の形成が促進されたとの報告がある³⁾。

その後、同様の研究が他の研究者で臨床的にも試みられたものの、炭酸ガスレーザー光の導光の難しさや、根管口歯髄組織への照射という解剖学的な難しさもあり、臨床応用が途絶えているのが現状である。

<今後の可能性>

抗凝固剤服用のために露髄面からの出血が止まらないなど全身的要因により止血が困難な場合や、アベキシゲネーシスで解るように、根部歯髄を健全に残すために、臨床応用の広がり可能性がある。つまり、レーザー光により歯髄組織内の細菌を含めた炎症部分のみを除去し、しかも除去端変性層が薄く治癒し易いレーザーと照射法が確立されれば、根管充填後の歯根破折を防止でき、より良い歯科治療法になるので、新たなレーザー等の開発が望まれる。

3) 修復象牙質形成促進

レーザーの持つ光化学作用として創傷の治癒が促進されることは知られている。この作用の類似作用という考えのもと、歯質の表面にアルゴンレーザー、Nd:YAG レーザーそして炭酸ガスレーザーを照射すると、前 2 者では照射後 7 日目位に歯髄内に硝子用変性が見られ、1 ヶ月後には類骨象牙質が形成されるという報告や、炭酸ガスレーザーでは修復象牙質が形成されるという報告がなされていた⁴⁻⁶⁾。

表 2 半導体レーザー照射が細胞の骨分化に与える影響

照射効果	波長	出力	関連文献
ALP 量増加	623nm	0.43J/cm ²	7)
	660nm	1.3J/cm ²	8)
	810nm	7.6J/cm ²	9)
	810nm	1J/cm ²	6)
	830nm	3J/cm ²	10)
石灰化沈着	810nm	1J/cm ²	6)
	905nm	3J/cm ²	11)
BMP-2, 4 増加	810nm	7.6J/cm ²	9)

しかしながら、何故レーザーによって歯髄反応が異なるかについて、細胞分化といった面からの詳細な研究はなかった。

<今後の可能性>

LLLT 療法が広がったことにより、歯髄組織というよりは歯髄細胞を対象とした基礎的研究が行われてきている⁷⁾。この論文では、結果として、低出力の半導体レーザー照射が、ヒト培養歯髄細胞の細胞増殖能および石灰化能を亢進させると述べている。

この実験を通して解るように、レーザー光の細胞への影響を考えた場合、細胞増殖促進と機能細胞として分化促進することに分けて考えるべきである。更に分化に関しては細胞の分化段階毎に分けてレーザー光の影響を考えていく必要がある。ただ、歯髄組織として考えた場合、単に歯髄細胞だけで構成されているのではなく、その周囲には血管・繊維組織・間質成分等があることを考えたレーザーの臨床応用が必要になる。

分化だけを考えても、表 2 にまとめた⁷⁻¹²⁾ように、同じ半導体レーザーであっても、分化に与える影響が波長や出力によって異なっている。このことから、レーザーの種類だけでなく対象細胞の種類、照射条件そして得られる効果をより詳細に検討していく必要があるが、大きな可能性は提示されているので、更なる研究発展が期待でき、レーザー治療の主体になるものと考えられる。

4) 歯髄の疼痛抑制 (麻酔) 作用

1985 年に Nd:YAG レーザーを 20W-0.1 秒の繰り返し照射を歯冠部に行うか、あるいは 2W のアルゴンレーザーを歯冠部に連続照射すると、安全かつ効果的に象牙質感覚を抑制出来るという報告があった¹³⁾。特に歯質切削時に効果がみられているので、無痛の歯の切削の可能性が考えられた。

しかし、その後、同様の研究は行われたものの顕著な疼痛抑制効果は見られなかった。また、猫の神経を露出させ、神経に直接レーザー光を照射するという実験も行われたが、神経線維を流れる電流 (電氣的インパルス) の変化を見出すことは出来なかった。

図1 象牙細管での生体防御反応と治療法

WH: ホイットロカイト, BR: ブラッシュライト, HA: ハイドロキシアパタイト OCP: 億他カルシウムフォスフェート, MN: 辺縁神経叢 (C線維), Ras. N: ラシコフ神経叢 (Aδ線維)
(庄司 茂¹⁴⁾ の図改変)

<今後の可能性>

整形外科領域の実験ではあるが、ウサギ坐骨神経を切断後に神経縫合したあとの治癒について組織学的に研究した報告が2013年にMohammad等によってなされている¹⁴⁾。

この実験は、半導体レーザーを用いたLLL療法(680nm, 10J/cm²)と赤色LED(650nm, 2.4J/cm²)および青色LED(450nm, 2.4J/cm²)の作用の違いを検討したものである。その結果、半導体レーザーを用いたものでは、他の無処置やLED照射に比べて、明らかに神経単位(Neuron)やシュワン細胞の数が増えるとともに、ミエリン鞘の直径が増しているということであった。このことから考えると、何らかの傷害が生じた神経線維の修復を促進するとともに、神経線維の興奮性を下げる(閾値上昇)といった効果が低出力レーザーが持っている可能性が考えられる。

レーザー麻酔や疼痛改善は臨床的にも有用なので、もう一度、歯髄に関する研究が盛んになることを願っている。

5) 象牙質知覚過敏症への応用

象牙質知覚過敏症へのレーザー応用は現在まで続いており、プラセボ効果を否定できないものの、ある一定の治療効果を上げている。象牙質知覚過敏症へのレーザー治療効果メカニズムに関しては、図1に示したように考えると考え易い¹⁵⁾。

この考え方は現在でも認められており、Sgolastra et al.¹⁶⁾は、(1)象牙細管内中のタンパク質凝固物が細管内液の移動を阻害して症状を改善 (2)露出した象牙細管開口部を閉塞して症状を改善 (3)象牙細管内神経の放電を促すことで症状を改善とまとめている。

(1) 象牙細管の閉塞

①直接的細管口閉鎖

我々はNd:YAGレーザー照射で象牙細管開口部を閉塞

出来ることを報告している¹⁷⁾。その後、炭酸ガスレーザーやルビーレーザーそして波長810nmの半導体レーザーと多くのレーザーが知覚過敏症治療に用いられてきた。しかし、次第にレーザー照射部位を歯頸部照射から根尖部歯肉付近に照射するようになってきたことにより、細管開口部閉鎖という物理的作用よりも、光化学的作用に重きが置かれてきた。

<今後の可能性>

炭酸ガスレーザーやNd:YAGレーザー¹⁷⁾あるいはNd:YAPレーザー照射¹⁸⁾で、ヒト抜去歯の人工的象牙細管開口部閉塞を目的として実験が行われたものの、全ての根管口閉鎖には至らなかった。そのため、次に述べるように薬剤等の併用が考えられてきている。

②薬剤含有歯磨剤やリン酸系化合物との併用

半導体レーザー(685nm)と市販の知覚過敏改善用歯磨剤(8% arginine-calcium carbonate)を組み合わせ、それらの臨床的効果を研究したBal MV, et al.¹⁹⁾によると、それぞれ単独での作用と組み合わせたものとの間に差はなかったと報告している。

我々は市販のリン酸カルシウム系象牙質知覚過敏抑制剤(ナノシール[®], 日本歯科薬品)と炭酸ガスレーザーを併用した治療法を考え、World Federation for Laser Dentistry 2014で発表した²⁰⁾。その結果、ナノシールと炭酸ガスレーザーを併用することにより、象牙細管開口部を結晶による物理的閉鎖ができ、しかも蛍光溶液の透過性を半減することが解った。ただ、同じリン酸カルシウム系象牙質知覚過敏抑制剤であるティースメイト[®]ディセンシタイザー(クラレ)では、抑制が見られなかった。このことは、リン酸カルシウム結晶の違いか、あるいは溶媒の違いによるかは解明出来なかった。

しかし、今後はこの様にレーザー単独ではなく、何らかの材料あるいは薬剤との併用療法が盛んになると考えられる。

(2) 歯髄組織への直接作用

ソフトレーザーという言葉が広まり、GaAlAs 半導体レーザー（波長 780nm）を 30mW の出力で照射すると、臨床的に象牙質知覚過敏症が改善したという報告がなされた²¹⁾。この効果のメカニズムとして、この波長が K イオンや Na イオンの最大吸収線に近い値であることから、レーザー照射によって神経線維の膜透過性に関するイオン分布に何らかの影響を与えた結果、鎮痛効果が発現したとされていた。また一方においては、レーザー照射が神経系の一部を刺激し、その結果、痛覚伝導路の抑制、あるいは末梢における血液循環状況の変化が起きたのではないかとという説もあった。

しかしながら、用いられたレーザーの出力が 30mW 前後と小さく、効果の判定は患者の主観に頼っていること、症状の再発がかなり頻度でみられていること、加えて、照射部位が歯頸部だけでなく根尖部近くの歯肉照射でも効果が見られた²²⁾ということから、臨床的效果の的確な説明がなされずに臨床で用いられてきている。

<今後の可能性>

レーザーを直接歯髄に照射するという項目で述べたように、レーザーが神経修復に役だっている¹⁴⁾。つまり有髄の末梢神経であれば、生体のもつ治癒能力により、髄鞘が回復し、機能も回復することが解っている（図 2）。これは、

図 2 切断された有髄神経の治癒過程
(庄司 茂²²⁾ の図改変)

ミエリン鞘の膜結合性小器官であるミトコンドリアやリソゾームが軸索を修復するように生成されてきて治癒するためである。

直接覆髄や生活断髄の際に、薬剤貼付前にレーザーを歯髄面に照射して、神経の興奮抑制や修復促進を促すことが出来るなら魅力ある治療法になる。レーザー光の何らかの刺激を有髄神経に与えて、傷害を受けた神経線維を修復することで、痛みが改善するという可能性は歯科だけでなく、医科でも興味あるテーマであるので、今後の研究発展が望まれる。

2. 根管内象牙質への照射

我々は、Nd:YAG レーザーを象牙質表面に照射すると、象牙質に含まれた有機質が焼失することを見出した²⁴⁾。この結果から、感染根管内象牙質の滅菌あるいは根管拡大への応用を考えた。同様の考えは、基礎的研究を行った Dederich²⁵⁾によっても提唱されていた。

ただ、この段階では、根管内にチップを挿入して根管壁に照射するという方法は考えられていたものの、実用可能なチップはなかった²⁶⁾。このような状況のもと、レーザー光の側方照射という方法は Er:YAG レーザーを側方に照射可能な石英チップ開発されて、初めて臨床応用の可能性が出てきた。

1) 根管拡大

我々が研究²⁷⁾したチップは、石英ファイバーの先端角度が 84 度で、先端までステンレス鞘で覆われている。レーザー光のエネルギーの 80% をほぼ歯軸に直角方向に照射し、残りの 20% を根尖方向に照射する。ただ、外径は 135 μ m までになったものの、湾曲根管での根管拡大は難しく、リーマー等で # 20 位まで根尖孔に到達後に、根尖孔から歯冠側へと根管を拡大するという用途が適切だと考えられている。

<今後の展望>

後述するレーザーによる根管内殺菌を考えた場合、レーザー光でのクラウンダウン法での根管拡大が可能になれば、根管治療がより容易で確実なものになると考えられる。根管内での側方照射は不可能と考え長い間考えられていたものが、チップ先端角度を検討することで、側方照射が可能になったように、今後、ニッケルチタンファイルを凌ぐレーザー光と照射用チップの開発が期待されている。

2) 根管表面および象牙細管内の殺菌

我々は Er:YAG レーザーのエネルギーのほとんど全てが水酸基に吸収されるので、細菌類に対しても破壊的に作用すると考え、ウシ象牙質で作製した人工根管内に播種した *Str.sanguis* にレーザー照射し、その後の細菌生存を、次亜塩素酸ナトリウムと 3% 過酸化水素水の交互洗浄法を基準として比較検討した。その結果、交互洗浄では表層か

ら $4\mu\text{m}$ までしか殺菌効果が及ばなかったものの、Er:YAG レーザーでは $18\mu\text{m}$ まで殺菌効果が見られた²⁵⁾。

<今後の検討>

根管治療で根管を可能な限り無菌化するという考え方は、今後も変わらないことは確かである²²⁾。その手段として、治療の大部分を占めるのはリーマーやファイルによる機械的根管拡大である。リーマー等の材質も鋼の時代を過ぎ、ステンレスそしてニッケルチタンへと改良が進んでいる。この機械的拡大をレーザーで行いたいという思いはあるものの、ISO 規格に沿った拡大は難しい。但し、注入型根管充填材が開発されてきているので、より良いレーザーが開発され、殺菌と根管拡大が一回の処置で確実に実現できるようになることを期待している。

実際、レーザーによる殺菌に関する研究は多く行われており、我々と同様 Er:YAG レーザーで先端角度 84 度のチップを用いて研究を行った千田等²⁸⁾は、細菌への影響を形態学的に検討するとともに、細菌の残存および根管壁(象牙細管内)に存在する内毒素(LPS)についても研究を行っている。その結果、細菌形態的には変形や破裂部が見られ、S.mutans や E.faecalis (E.f) を殺菌できると述べている。また、LPS については、根管表面から $400\mu\text{m}$ までに存在している量を減少出来たと報告している。

レーザーによる殺菌に関する総説もあり^{29,30)}、これらの総説ではレーザーは殺菌効果はあることは確かではあるが、もっと詳細な研究が必要だと結論付けている。

ただ、現在、根管貼薬剤として世界的に推奨されている水酸化カルシウム製剤では、E.f に対して殺菌効果を有していないため、E.f の根管に残存によって臨床症状改善が難しくなることが起きてしまう。このことから、水酸化カルシウム製剤貼薬前にレーザーを照射するという治療法も考えられるので、更なる研究が期待される³¹⁾。

3) 根管洗浄

従来のシリンジを用いた根管洗浄では、根尖部 1/3 が洗浄不足に陥りやすいことが解っている。そのため、超音波法³²⁾、音波法³³⁾、陰圧法³⁴⁾などが試みられてきた。しかしながらまだ完璧な方法はみいだされていない。新しい方法としては、レーザーを用いた根管洗浄法^{35,36)}があり、レーザー光のパルス照射でマイクロバブルを発生させて根管洗浄を行う。

<今後の検討>

通常の洗浄の場合は、可能な限り根尖孔近くまで洗浄針の先端を挿入して行うが、レーザー照射による洗浄の場合は、根尖孔から離れていても洗浄可能であるという研究結果もあることから、より安全で確実な根管洗浄の可能性があるので、期待される研究分野である。

4) 根尖孔外への照射

確かに、根管貼薬剤の作用が及びにくく、しかも、薬剤

<注 意 点>

- ①歯髄の有無
- ②根管内象牙質
- ③セメント質象牙質境
- ④歯根膜腔
- ⑤根尖部歯周組織(膿瘍・肉芽・嚢胞)
- ⑥歯槽骨

図 3 根尖狭窄部付近でのレーザー照射において考慮すべき部位 (庄司 茂²⁵⁾ の図改変)

による根尖部歯周組織傷害を考えた場合、レーザー光による殺菌・組織修復促進ということが考えられる。しかしながら、レーザー光の種類や出力によって、根管壁象牙質や根尖部歯周組織に傷害を及ぼすことがある。

レーザーによる根尖孔付近への傷害を考える場合(図 3)、レーザーの種類に加えて根尖部に歯髄組織が残っている場合と嚢胞を含めた根尖性歯周炎とに分けて考えた方が良い²⁵⁾。つまり、レーザー光の性質を水・水酸基への吸収性と組織透過性に分けて考えて治療に当たるのが重要である。

(1) レーザーの種類

炭酸ガスレーザーや Er:YAG レーザーは、硬組織である根管壁象牙質面やセメント質象牙質境(CDJ)に大きな影響を与える。特に、CDJ を破壊してしまうと、アピカルシート形成が困難になるので、充分注意すべきである。

一方、Nd:YAG レーザーや半導体レーザーは、硬組織への影響よりも歯根膜を含めた根尖孔外歯周組織への影響を考えた照射時間や出力コントロールが重要である。

(2) 歯髄組織が残存

歯髄が残っていると炭酸ガスレーザーの場合は炎症歯髄を炭化層が覆ってしまう。逆に、Er:YAG レーザーの場合には歯髄細胞が浮腫状になってしまい、共に炎症が持続してしまい、痛みや違和感が残ってしまう。

<今後の検討>

次に述べる根尖性歯周炎の場合も同じであるが、決してレーザーは痛みを消す治療装置ではなく、もし根尖部に照射する場合は、根尖部の状況やその作用メカニズムを熟慮して用いるべきである。

(3) 根尖性歯周炎

①膿瘍

根尖部に膿瘍が形成されていて排膿が見られる状態で、根管から根尖に向けてレーザーを照射すると、その熱で膿瘍が固まり、排膿を妨げてしまうとともに、マクロファージ等による膿瘍吸収をも妨げてしまう。このような状態では、根尖部の圧力が高まり痛みが増悪してしまい、治療が遅れてしまう。このことは、フォルマリン系根管貼薬剤（例えばFC）によって膿が固まった状態と同じある。

②肉芽組織（肉芽種）

Nd:YAG レーザーや半導体レーザー等の組織透過性の高いレーザーで、微小血管や繊維組織にレーザーを照射して治療促進を図るという考え方もあるが、根尖部のどのあたりにどの程度の出力で何秒間照射するのが良いのかといった基礎的研究はほとんど行われていない。根尖部が湾曲している場合も含めた、詳細な研究が必要なテーマである。

<今後の検討>

根尖性歯周炎の病変部にレーザーを照射することは、根尖部に存在する末梢神経を傷害することに加えて、歯槽骨での腐骨形成の恐れもあるので、十分な配慮が求められる。光化学作用を期待しての照射であっても、条件によっては根尖部歯周組織に熱的影響を与えることもあるので、細心の注意が必要ではあるが、慢性疼痛改善という面からは、研究が進むことが望まれる。

(4) 嚢胞

過去において嚢胞壁をリーマーで突き破り急性化させて治療を促すという治療が行われたことがあった。そこで、レーザーで嚢胞壁に穴を開けたらという考えもあったものの、開けた穴の周囲に熱凝固層が出来てしまい、治療が遅れる可能性がある。また研究報告も見られない。

<今後の検討>

嚢胞は肉芽種とはことなり、通常の歯内治療では治療しない。そのため、歯根端切除による嚢胞摘出が第一選択である。レーザー治療の可能性を考えた場合、嚢胞壁全体をレーザーで蒸散させるという可能性はある。歯根端切除で患者に負担をかけることを考えた場合、将来の発展が望まれる。

5) 側枝や内部吸収の治療

側枝や内部吸収の部位をリーマー等で器械的に拡大することは困難であった。現在は、Erwin Adverl（モリタ）モリタ社のEr:YAG レーザー（Erwin Adverl）のように、レーザー光を斜め前方や側方に照射可能なチップが市販されているので、病変部をレーザー光で拡大し、治療に導くことが出来るようになった（図4）。

実際の治療手順としては、リーマー先端を屈曲して側枝の入り口を探索。ついで、探索した入り口からK ファイルを入れて、ファイリングを行う。側枝を拡大後、レーザーを照射して側枝内の組織を蒸散し根管を拡大する。次

に40℃に加温した次亜塩素酸ナトリウム液で洗浄を繰り返す方法である²³⁾。

<今後の検討>

電氣的根管長測定器を用いて側枝を見出すことが出来るようになってきた³⁶⁾。従って、レーザー光での側枝拡大は、内部吸収面の拡大を含めて実現可能な治療法なので、今後の発展が望まれる。

3. 歯内外科

1) 歯根端切除

これまで行われてきた歯根端切除法を基準として、歯科用顕微鏡下でのEr:YAG レーザー照射法を、臨床的症候を指標として比較した研究³⁷⁾が行われている。その結果、術後1日目と7日目の発赤や腫脹では優位にレーザー法の方が良かった。術後180日目では、従来法41例中6例で機能障害が見られたものの、レーザー法では何らの症状も出なかった。このことは、歯科用顕微鏡により不良肉芽や歯根面の汚れの見落としが少なかったことと、レーザー照射で起炎組織を有意に除去出来たことを示している。

加えて、Er:YAG レーザーでは、切除した歯根の口蓋側（舌側）面に残る不良肉芽組織や罹患象牙質を除去出来るので、予後はより良くなる²⁶⁾。

<今後の検討>

今よりもあらゆる方向に照射出来るレーザーチップと、歯根部をより早く切断出来るレーザーの出現を期待している。今後、レーザーの有効な治療法であることは間違いないので発展が望まれる。

2) 外部吸収歯治療

外部吸収歯は無症状に経過することが多く、吸収像が見出された場合は、かなり広範囲に吸収が進んでいる場合が多い。そのため、可能な限り歯質を残すことが大切である。Er:YAG レーザーは硬組織だけでなく軟組織も蒸散・除去出来るので、外部吸収治療はレーザー照射法は有効な治療法である。

<今後の検討>

現在のレーザー機器で対応は可能であるが、更に改善された照射装置やチップの開発が期待される。

4. 誤 療 法

レーザーを含めた光療法では、目や脳中枢への傷害防止に努めるべきである³⁸⁾。歯内療法に関連した誤療法による生体傷害として、瘻孔（フィステル）から根尖部を目指したレーザー照射²⁶⁾である。瘻孔からファイバーを挿入してレーザーを照射すれば、一時的に臨床症状が改善するからといって、瘻孔が出現している原因や原因菌・部位を特定せずに、単にレーザーを照射することは行うべきでない³⁹⁾。

図 4 48 歳女性 右下 4 の瘻孔と痛みを訴えて来院した
(先端屈曲リーマ、Er:YAG レーザ、加温 NaClO 洗浄)：側枝位置

新しいレーザー光の応用分野を探索することは大切なことではあるが、患者は実験対象者ではない。自分なりに病因を特定し、確実なレーザー光の効果メカニズムを患者に説明してから治療に当たることが誤療法防止に繋がる。

5. 血 流 計

外傷による脱臼で根尖孔部の神経が切断された場合、当該歯の歯髄が生きているかどうかで治療法や予後を考えるために重要な要因である。このため、生活歯かどうかの判定のための歯髄内血流の有無を測定する透過型光電脈波法が 30 年前から行われており、最近では、LED が使われるようになってきている⁴⁰⁾。

＜今後の検討＞

歯髄の血流を測定しようとすると、周囲の歯肉血流の影響を受けてしまうため、ラバーダム防湿を行うことが多い。今後、血中の SpO₂ 分圧を含めて、より簡便に測定できるようにになれば、電気歯髄診に変わり得る可能性はあるので期待される研究領域である。

6. 感染根管の分光分析

30 年前に、我々は先端外径 0.5mm の根管内視鏡が開発した。この時、アルゴンレーザーを軟化象牙質に照射すると蛍光を発するという報告⁴²⁾があった。これらを基に研究を進めていけば、根管内感染象牙質の有無や根管拡大・清掃完了の判定が科学的に可能になると考えた。しかし、ファイバースコープでの蜂の巣状観察面や、側方根管観察

の難しさから研究は進まなかった。

＜今後の検討＞

感染根管の根管拡大終了判定は、今でもホワイトデンティンの確認で行っている。検査法が少ない歯科治療分野では、科学性が期待できる検査なので、今後の発展が望まれる。

7. 光干渉断層計

(OCT : Optical Coherence Tomography)

これまで歯の断層を観察するためには、放射線照射法しか無かった。しかし、最近、レーザー光の干渉作用を用いて、う蝕や歯の亀裂の診断が可能な光干渉断層計が開発された⁴²⁾。光を透過しない組織は無理ではあるが、歯肉などの軟組織では画像深度が 2mm と深部まで観察できる。ただし、象牙質は象牙細管を有する為にレーザー光が乱反射を起こし、干渉性が悪くなる。一方、エナメル質は象牙質よりも透過性は高いが、軟組織までには及ばない。

我々は試作光干渉断層計(吉田製作所製)を用いて、ヒト抜去大白歯隣接面カリエスの撮影を行った(図 5)。その結果、矢印で示した様に、カリエス底部と歯髄との距離を測定することが出来た。これまで、この距離を測るために超音波や電気抵抗測定等が試みられてきたものの、有効な手段は見つかっていない。この距離が解れば、覆髄や IPC、あるいは抜髄の判定が確実なものになって、患者への負担が減少するので、より発展が望まれる。

図5 OCTによる大臼歯隣接面カリエス部の断面像：カリエス底部と歯髄との距離

まとめ

歯内療法分野におけるレーザー応用に関して、30年前と現在を比較しながら、レーザー治療法の可能性について述べてきた。確かに30年前は、医科も歯科もレーザー光が臨床で多に役立つ手段と思われてはいたが、これこそがレーザー専門という分野が歯科では見出されていない。今後、更なる新しいレーザー発振装置が求められているのは確かである。

私は2014年9月5日から2016年3月31日の任期で、独立行政法人 医薬品医療機器総合機構（PMDA）より、(1) 医薬品、医療機器等の承認審査関連業務、および (2) 医薬品、医療機器等の安全対策業務に関する専門的見解を提示するための専門委員の委嘱を受けた。この委嘱の大きな目的は、新たなレーザーを開発するためには、どのような問題があり、それを解決するための方策を検討する委員会ということではあった。しかし、PMDAの組織改変と重なったことがあり、残念ながら、まだ実際の会議は開催されていない。

ただ、新しいレーザー発振装置も大切ではあるが、現行のレーザー装置で、ミラー等を用いて発振波長を変える等で、安全を担保しながら新波長レーザー装置を経費や時間的負担が無く販売出来るようになれば、臨床に役立つ新たな可能性が出てくると考えている。

文 献

- 1) 森岡俊夫編：レーザー歯学，第一版，東京，1986，医歯薬出版。
- 2) 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.
- 3) Towe TT, Kato J: The comparative histopathological studies of pulpotomized pulp tissue of the developing rat molars with He-Ne laser and Nd:YAG laser irradiation. Ped Dent J, 6 : 69-76, 1996.
- 4) Nagasawa A: Experimental study on the histological changes in pulp of rat with exposure to argon laser. 日本レーザー医学会誌, 4 : 269-270, 1984.
- 5) Melcher J: Preliminary report on the effect of the CO₂ laser beam on the dental pulp of the Macaca mulatta and the beagle dog. J Endodont, 11 : 1-5, 1985.
- 6) 長澤明範：レーザー照射に伴う歯髄組織の反応性の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.
- 7) 國松 亮，郡司秀美，柄 優至，他：ヒト歯髄細胞の代謝に対する低出力半導体レーザー照射の影響，日レ歯誌，26：1-9，2015.
- 8) Stein E, Koen J, Sutter W, et al: Initial effects of low-level laser therapy on growth and differentiation of human osteoblast-like cells. Wiener klinische Wochenschrift, 120 : 112-117, 2008.
- 9) Bloise N, Ceccarelli G, Minzion P, et al: Investigation of low-level laser therapy potentiality on proliferation and differentiation of human osteoblast-like cells in the absence/presence of osteogenic factors. J Biomed Optics, 18 : 128006, 2013.
- 10) Matsui S, Tsujimoto Y, Matsushima K: Stimulatory effects of hydroxyl radical generation by Ga-Al-As laser irradiation on mineralization ability of human dental pulp cells. J Dent Res, 91 : 961-966, 2012.
- 11) Khadra M, Lyngstadaas SP, Haanaes HR, et al: Effect of laser therapy on attachment, proliferation and differentiation of human osteoblast-like cells cultured on titanium implant material. Biomaterials, 26 : 3503-3509, 2005.
- 12) Fukuhara E, Goto T, Matayoshi T, et al: Optimal low-energy laser irradiation causes temporal G2/M arrest on rat calvarial osteoblasts. Calcif Tissue Int, 79 : 443-450, 2006.

- 13) 長澤明範: Nd:YAG レーザー, Argon レーザー照射による歯の知覚変化とその歯科治療における疼痛抑制効果. 日本レーザー医学誌, 5 : 417-420, 1985.
- 14) Nohammad AT, Davood S: A comparative study of red and blue lighting-emitting diodes and low-level laser in regeneration of the transected sciatic nerve after an end neurorhaphy in rabbits. Lasers Med Sci, Published online : 28 September 2015.
- 15) 庄司 茂: 歯頸部知覚過敏症の原因. 歯界展望, 65 : 735-744, 1985.
- 16) Sgolastra F, Petrucci A, Gatto R, et al: Effectiveness of laser in dentinal hypersensitivity treatment; a systematic review. J Endodont, 37 : 297-303, 2011.
- 17) Bela MH, Yassin A: A comparative evaluation of CO₂ and erbium-doped yttrium aluminium garnet laser therapy in the management of dentin hypersensitivity and assessment of mineral content. J Periodontal Implant Sci, 44 : 227-234, 2014.
- 18) Namour A, Nammour S, Peremans A, et al: Treatment of dentinal hypersensitivity by means of Nd:YAP laser: a preliminary in vitro study. Scientific World Journal, Article ID 323604 : 1-7, 2014.
- 19) Bal MV, Keskiner I, Sezer U, et al: Comparison of low level laser and arginine-calcium carbonate alone or combination in the treatment of dentin hypersensitivity: a randomized split-mouth clinical study. Photomedicine and Laser Surgery, 33 : 200-205, 2015.
- 20) Chiba T, Shoji S: Increase of closure in dentinal tubules by CO₂ laser irradiation using nano calcium phosphate granules. WFLD, 51 : 51-52, 2014.
- 21) 松本光吉, 船井博雄, 若林 始, 他: GaAlAs 半導体レーザー (象牙質知覚過敏症治療器一型) による象牙質過敏の処置に関する研究. 日歯保誌, 28 : 766-771, 1985.
- 22) 松本光吉, 若林 始, 船渡章嘉, 他: レーザー照射による象牙質知覚過敏症に関する研究—照射部位に関する検討—. 日歯保誌, 28 : 1366-1371, 1985.
- 23) 庄司 茂: 機能的な歯内治療, 東京, 2011, デンタルダイヤモンド社.
- 24) 庄司 茂, 堀内 博, 山本 肇: Nd:YAG レーザー照射を象牙質表面に与えた時の象牙質及び歯髄の変化. 日本レーザー医学会誌, 3 : 599-604, 1982.
- 25) Dederich ND: Scanning electron microscopic analysis of canal wall dentin following Nd:YAG laser irradiation. J Endodont, 10 : 428-431, 1984.
- 26) 庄司 茂: 歯内療法におけるレーザーの位置づけ—基礎と実際. Dental Diamond, 34 : 46-53, 2009.
- 27) Shoji S, Hariu H, Horiuchi H: Canal enlargement by Er:YAG laser using a cone-shaped irradiation tip. J Endodont, 26 : 454-458, 2000.
- 28) 千田晋平, 堀場直樹, 稲本京子, 他: Er:YAG レーザーによる根管内殺菌効果の検討. 日レ歯誌, 20 : 12-19, 2012.
- 29) Mohammadi Z, Palazzi F, Giardino L, et al: Microbial biofilms in Endodontic infections: an update review. Biomed J, 36 : 59-70, 2013.
- 30) Rahimi S, Janani M, Lotfi M, et al: A review of antibacterial agents in endodontic treatment. Iranian Endodontic J, 9 : 161-168, 2014.
- 31) Sadik B, Arian S, Belduz N, et al: Effects of laser treatment on endodontic pathogen Enterococcus faecalis; a systematic review. Photomed Laser Surg, 31 : 192-200, 2013.
- 32) Qu LS, Kim JR, Ling J, et al: Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. J Endod, 35 : 791-804, 2009.
- 33) DeGregoric C, Estevez R, Ciseneros R, et al: Effect of EDTA, Sonic and Ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals; an in vitro study. J Endod, 35 : 891-895, 2009.
- 34) Nielsen BA, Craig Baumgartner J: Comparison of the Endo Vac system to needle irrigation of root canals. J Endod, 33 : 611-615, 2007.
- 35) 吉峰嘉人, 松本妃花, 佐伯浩美, 他: Er:YAG レーザーを用いた根管洗浄効果に関する研究 第1報 高速度カメラによるレーザー誘発気泡の観察. 日レ歯誌, 21 : 78-82, 2010.
- 36) Shoji S: Finding the position of a lateral canal based on the value of two electric current readings in vitro. The 9th World Endodontic Congress, May 23, 2013.
- 37) Lietzau M, Smeets R, Hanken H, et al: Apicoectomy using Er:YAG laser in association with microscope: a comparative retrospective investigation. Photomed Laser Surg, 31 : 110-115, 2013.
- 38) 庄司 茂, 津田忠政: 光歯学: 光を歯科治療に安全に生かすには? 日歯医誌, 66 : 587-597, 2013.
- 39) 庄司 茂: レーザー照射によって生じた Hemosiderin を取り込んだマクロファージが観察された症例. 日レ歯誌, 20 : 9-13, 2009.
- 40) 柿野聡子, 三輪全三: LED を利用した透過型光電脈波法 (TLP) の歯髄診断への応用. 日レ歯誌, 25 : 153-158, 2014.
- 41) 庄司 茂, 堀内 博: ファイバースコープを用いた根尖内壁及び根尖孔部歯周組織の観察と臨床応用. 日歯保誌, 28 : 779-783, 1985.
- 42) Sundstrom F: Laser-induced fluorescence from sound carious tooth substance; Spectroscopic studies. Swed Dent J, 9 : 71-80, 1985.
- 43) 島田康史, 田上順次, 角 保徳: 光干渉断層計 (OCT) を用いたう蝕と亀裂の診断の可能性と限界. 日レ歯誌, 25 : 159-164, 2014.