根管治療におけるレーザーの可能性

—基礎から臨床へ—

海 老 原 新 須 田 英 明

東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科摂食機能保存学講座歯髄生物学分野

(主任：須田英明教授)

(受付：平成 17 年 6 月 27 日，受理：平成 17 年 7 月 22 日)

The Application of Laser to Endodontics: Its Principle and Practice

Arata EBIHARA and Hideaki SUDA

Pulp Biology and Endodontics, Department of Restorative Sciences,

Graduate School, Tokyo Medical and Dental University

(Chief: Prof. Hideaki SUDA)

(Received: June 27, Accepted for Publication: July 22, 2005)

Abstract: In our Department, many studies on the application of laser to endodontics have been performed for more than 20 years. Nd:YAG laser, Er:YAG laser, and diode laser have been used in our experiments, and the application of lasers to direct pulp capping, prepared dentin cavity, pulpotomy, disinfection of the root canal, removal of canal obstructions and root canal preparation, laser Doppler flowmetry, and photodynamic diagnosis has been attempted.

As to the application of Nd:YAG laser to the prepared dentin cavity, direct pulp capping and pulpotomy, Nd:YAG laser irradiation promoted the healing of pulpal tissues and the formation of secondary dentin and/or dentin bridge. Also, Nd:YAG laser disinfected *Streptococcus mutans* in the canal *in vitro*. In addition, the parameters of laser irradiation in the root canal were examined, and the adverse reactions to the surrounding tissues caused by laser irradiation were evaluated. Furthermore, Nd:YAG laser was able to remove dowel cores, and gutta-percha from the root canal. We assessed pulpal blood flow by laser Doppler flowmetry in teeth with horizontal root fracture. Currently, we are trying to apply lasers to the root canal preparation, and some success has been obtained so far. Also, we are attempting to apply photodynamic diagnosis to endodontics.

In summary, we believe that lasers will be increasingly used in endodontic practice in the near future.

(J. Jpn. Soc. Laser Dent. 16 : 111 ~ 115, 2005 Reprint request to Dr. EBIHARA)

Key words = Laser, Endodontics, Pulp

キーワード=レーザー，歯内療法，歯髄

緒 言

当分野においては，1986 年より約 20 年間に渡りレーザーの歯内療法への応用をテーマの一つとして研究している。研究開始当初は国内外におけるレーザー関連の研究発表・論文も少なく，その発展を疑問視する向きが多かったが，その後，レーザー装置の開発が進むとともに研究者も

増加し，レーザーの研究および臨床応用の報告が増加してきた。

初期の研究では，Nd:YAG レーザーを用い，レーザー照射による歯髄組織への影響を検討した。その後，根管内に挿入可能なファイバーが開発され，根管内の殺菌や異物除去への応用を試みた。近年では，Er:YAG レーザー，Nd:YAG レーザー，あるいは半導体レーザーと photosen-

sitizer との併用により、根管形成への応用を試みている。歯髄診断の領域では、レーザードップラー血流測定により外傷歯の歯髄診断を行い、さらに光線力学的診断法の歯内療法への可能性も追求している。以下にこれまで行ってきた研究の概要を述べる。

歯髄保存

著者らはまず、Nd:YAG レーザーを用いた歯髄保存に関する実験を行った。しかし、当時の Nd:YAG レーザー装置は連続波であったため、歯髄に発生する熱の影響を受けやすく、根管に挿入可能なファイバーは無かった。さらに、当時の研究のトピックはレーザー照射による創傷治癒促進効果であり、ハードレーザーというよりも、ソフトレーザーに研究の力点が置かれていた。そこで、イヌの歯を用い、Nd:YAG レーザー照射の象牙質窩洞への影響¹⁾、直接覆髄²⁾、断髄法³⁾への応用について検討を行った。その結果、Nd:YAG レーザー照射により病理組織学的に歯髄組織の創傷治癒は促進され、dentin bridge や二次象牙質の形成が促進されることを見いだした(図1)。象牙質窩洞下の歯髄、露髄面、断髄面の創傷治癒に関し、レーザー照射は有効であることが分かった。

感染根管治療

歯内療法、特に感染根管治療において、根管の無菌性の獲得は極めて重要である。根管形成、洗浄、貼薬といった一連の処置に加え、レーザーで殺菌を行うことにより、治療成績をより確実にすることを企図し、レーザー殺菌に関する *in vitro*⁴⁾ と *in vivo*⁵⁾ の研究を行った。これは、周囲組織に熱の影響を与えにくく、高出力レーザー照射が可能なパルス波 Nd:YAG レーザーおよび根管に挿入可能な細径ファイバーの開発を受けたものである。まず、*in vitro* の研究では、ウシ抜去歯根管内に播種した *Streptococcus mutans* の菌液に対する Nd:YAG レーザー照射の効果について、100mJ 10pps・200mJ 10pps・100mJ 30pps・200mJ 30pps の各種照射条件で検討した。その結果、Nd:YAG レーザーの吸収に有効とされる黒色系色素の有無にかかわらず、レーザー照射による殺菌効果が認められた。また、照射エネルギーの上昇により、殺菌効果の増大が確認された⁴⁾。次に、*in vivo* 研究を行い、レーザー照射の周囲組織への安全性を検討した。すなわち、イヌ前臼歯を抜髄後、各種照射条件下で根管内に Nd:YAG レーザー照射を行い、7日後および28日後の状態を病理組織学的に検討した。その結果、100mJ 10pps の照射条件では対照と差がなく、200mJ 20pps では根尖部に重篤な傷害を生じ、歯根吸収等を起こすことが判明した⁵⁾。したがって、レーザーの根管内照射による殺菌は有効ではあるものの、その照射条件については周囲組織への安全を考慮し、慎重に行うべ

きであると思われた。

根管内異物除去

Nd:YAG レーザー装置の出力の上昇とともに、レーザーの根管治療への応用に関して新たな可能性が開けてきた。Nd:YAG レーザーは、工業界で金属加工に用いられているが、歯科分野でも金属に対するレーザー照射の可能性が考えられる。

著者らは金属ポスト、ガッタバーチャポイント、ファイル等に Nd:YAG レーザー照射を行い、それらの除去効果を検討した⁶⁾。その結果、根管から金属ポストや根管充填材を除去することが可能であった。根管内破折ファイルの除去に関しては、8例中5例について除去が可能であった⁶⁾(図2)。

さらに、レーザー照射による金属ポスト除去に関し、金属やセメントの種類による相違を検討した。すなわち、金属として白金加金、金銀パラジウム銀合金、および銀合金を用い、セメントとしてはリン酸亜鉛セメント、ガラスアイオノマーセメント、およびレジ系接着性セメントの3種類を用いて検討した。その結果、ポスト除去に要する時間は、セメントの種類に依存しないことが判明した。金属の種類に関しては、銀合金ではより短時間で除去が可能であった⁷⁾。近年、白金加金をポストとして用いる、あるいはポストを接着性セメントで合着する症例が増加している。したがって、これらの歯の再根管治療を行う場合、ポスト除去の困難性が予想される。そのような症例においては、レーザー照射によるポスト除去も将来選択肢の一つであろう。

感染根管治療において、根管充填材の徹底除去は時間を要する作業といえる。有機溶媒による溶解は、根管充填材を根尖から周囲組織に溢出して急性炎を惹起させる恐れがある。また、根管壁象牙質に溶解した根管充填材が浸透する可能性もある。この点、レーザーによる除去は一つの選択肢となるであろう。加えて、レジ系根管充填材の機械的除去は非常に困難である。そこで、Nd:YAG レーザーを用い、レジ系根管充填材である AH26 の除去を試みたところ、十分に除去可能であることが見出された⁸⁾。

レーザー照射の安全性に関しては、生体局所の温度が47℃1分を超えて上昇すると、組織に不可逆性変化が起こると報告されている⁹⁾。著者らの *in vitro* 研究では、金属除去時の照射条件で、水による冷却下でレーザーを照射した場合、歯根表面の温度は30秒後に10℃上昇した¹⁰⁾。したがって、レーザーの連続照射時間は1回30秒程度とし、間隔を置いて行うことが望ましいことが判明した。

根管形成

レーザーによる根管形成では、狭小な根管へレーザーを

a: コントロール例

b: レーザー照射例

図 1 Nd:YAG レーザーの断髄面へ照射後 1 ヶ月の病理組織像
dentine bridge の形成促進が認められる (3) より引用。

a: 金属ポスト除去前

b: 除去後

c: 根管充填材除去前

d: 除去後

e: 破折ファイル除去前

f: 除去後

図 2 Nd:YAG レーザー照射による根管内異物除去例 (6) より引用)

a

b

c

d

e

f

図 3 Er:YAG レーザー装置
(アーウィンアドベール, モリタ
製作所, 京都, a) および各種
コンタクトチップ (b ~ f)

図 4 Nd:YAG レーザー装置 (ManipuLaser, マニー, 栃木)

図 5 半導体レーザー装置
(ZH-M153DJP, パナソニックヘルスケア, 神奈川)

図 6 口腔内カメラ
(ペンスコープ VIS-41-BW, モリタ製作所, 京都)

a: ホワイト LED

b: ブルー LED

図 7 歯石の沈着像の相違。b: において歯石は赤色を呈している。

導光することが不可欠である。現在、各種レーザーで様々なファイバーやコンタクトチップが開発されており、今後の発展が期待されている。硬組織切削能を有する Er:YAG レーザーはファイバーで導光し、コンタクトチップ先端からレーザー照射を行う。近年、コンタクトチップは種々の形態のものが開発されてきており、根管への挿入が可能なものもある(図3)。今後、さらに装置の開発が進めば、根管形成も可能であろう。なお、Nd:YAG レーザー(図4)は色素特異性があり、歯の硬組織切削には不向きと言われてきた。しかし、酸化チタン液を photosensitizer として歯質の切削を試みる研究がなされている¹¹⁾。また、Nd:YAG レーザーと同様に近赤外領域の波長を持つ半導体レーザー(図5)も、インドシアニンググリーン等の photosensitizer を併用することにより、根管形成に応用できる可能性があることが分かった¹²⁾。いずれのレーザーでも、その光学特性が生かされれば、根管形成への応用は可能と考えられる。

診 断

レーザードップラー歯髄血流測定

歯髄の生死の判定は歯内療法において極めて重要である。しかしながら、現在の判定法は、電気歯髄診断あるいは温度診という、患者の主観に頼った方法が用いられている。レーザー光の特性を生かし、ドップラー理論に基づく波長のシフトを測定するレーザードップラー血流測定法により、歯髄血流の測定が可能である。著者らは、歯根水平破折歯においてレーザードップラー血流測定を行い、歯髄震盪を起こし、通常の歯髄生活性試験に反応しないものの、歯髄血流が存在した症例を報告した¹³⁾。レーザードップラー血流測定は、診査法として客観性に優れており、今後、診断法として発展の可能性が高い。

光線力学的診断法

診断では客観性が特に重要である。従来のカリエス診断は、視診、触診、あるいはレントゲン写真に基づくものであった。しかし、これらの診査法は経験が必要とし、また客観性が欠如しているといえる。

DIAGNOdent (Kavo) は、カリエスを数値化して表示する装置である。最近、波長405nmのLEDを用い、口腔内カメラ(図6)で菌垢や歯石やレジンを検出するものが開発されている(図7)。これらの装置は、ある波長の光を組織に照射し、組織から放射されるautofluorescenceを検出するものである。組織の状態により発光するautofluorescenceが違ふことから、その病態を診断するものである。これは、光線力学的診断法(Photodynamic Diagnosis)に属するものであり、近年その分野の研究が発表されつつある^{14, 15)}。今後、レーザーの臨床応用の一分野として発展が期待される分野である。

ま と め

この20年間におけるレーザー装置の進歩は目覚ましいものがある。20年前にはレーザーの歯科への応用に関する研究が今日これほど進歩するとは考えられなかった。この間、歯内療法においても、手用ファイルからNiTiファイルへの変遷、顕微鏡の導入等進歩変化してきた。この

20年間の進歩を考慮すれば、この先レーザーが歯内療法の日常臨床に取り入れられる日も近いと確信している。

文 献

- 1) 王 紅虹: イヌ前歯象牙質窩洞へのNd:YAGレーザー照射による歯髄の病理組織学的変化について. 日歯保存誌, **33**: 1643-1658, 1990.
- 2) 海老原新, 関根義朗, 竹田淳志, 須田英明: Nd:YAGレーザーの直接覆髄法への応用に関する研究. 日歯保存誌, **35**: 876-886, 1992.
- 3) 海老原新: Nd:YAGレーザーの生活断髄法への応用に関する実験的研究. 日歯保存誌, **32**: 1670-1684, 1989.
- 4) 関根義朗, 和達礼子, 海老原新, 竹田淳志, 須田英明: Nd:YAGレーザーによる根管消毒—ウシ抜去歯を用いた基礎的研究—. 日歯誌, **6**: 31-39, 1995.
- 5) 関根義朗, 和達礼子, 海老原新, 竹田淳志, 須田英明: Nd:YAGレーザーの根管内照射による歯周組織の影響. 日歯誌, **7**: 12-21, 1996.
- 6) 海老原新, 高品正明, 竹田淳志, 須田英明: パワーパルスNd:YAGレーザーを用いた根管内異物除去に関する基礎的検討. 日歯誌, **10**: 25-33, 1999.
- 7) Takashina, M., Ebihara, A., Sunakawa, M., Anjo, T., Takeda, A. and Suda, H.: The possibility of dowel removal by pulsed Nd:YAG laser irradiation. Lasers Surg Med, **31**: 268-274, 2002.
- 8) 安生智郎, 高品正明, 海老原新, 竹田淳志, 須田英明: パルス波Nd:YAGレーザーによるレジ系糊剤根管充填材AH26の除去に関する基礎的研究. 日歯保存誌, **46**: 896-903, 2003.
- 9) Eriksson, A.R. and Albrektsson, T.: Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. J Prosthet Dent, **50**: 101-107, 1983.
- 10) 高品正明, 竹田淳志, 安生智郎, 海老原新, 須田英明: パルス波Nd:YAGレーザーによる金属ポスト除去時の歯根表面の温度上昇に関する基礎的検討. 日歯誌, **11**: 27-34, 2000.
- 11) Ebihara, A., Anjo, T., Takeda, A. and Suda, H.: The surface of root canal irradiated by Nd:YAG laser with TiO₂. Lasers In Dentistry X, SPIE Vol. 5313, 97-103, 2004.
- 12) Ebihara, A., Anjo, T., Takeda, A. and Suda, H.: Root canal walls irradiated by diode laser with ophthalmic green. J Korean Academy of Endodontics, **5**: 72, 2004.
- 13) Ebihara, A., Tokita, Y., Izawa, T., and Suda, H.: Pulpal blood flow assessed by laser Doppler flowmetry in a tooth with a horizontal root fracture. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, **81**: 229-233, 1996.
- 14) Ebihara, A., Wilder-Smith, P., Liaw L.H., Krasieva, T.B. and Messadi, D.: Detection and diagnosis of oral cancer by laser-induced fluorescence. Lasers Surg Med, **32**: 17-24, 2003.
- 15) Ebihara, A., Liaw, L. H., Krasieva, T.B. and Wilder-Smith P.: Light-induced fluorescence for pulpal diagnosis. Lasers In Dentistry VII, SPIE Vol. 4249, 163-168, 2001.