解説**REVIEW ARTICLE****小児歯科領域におけるレーザー治療**加藤 純二¹, 守矢佳世子²¹ 東京歯科大学歯科保存学第三講座² 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う蝕制御学分野

(平成16年11月2日受理, 平成16年12月16日掲載決定)

Application of laser treatment in pediatric dentistryJunji Kato¹, Kayoko Moriya²¹ Department of Operative Dentistry, Tokyo Dental College² Cariology and Operative Dentistry, Department of Restorative Sciences, Graduate School, Tokyo Medical and Dental University

(Received November 2, 2004, Accepted December 16, 2004)

要 約

小児歯科の診療では、対象が子供であることから、治療時に恐怖感や痛みを与えない安全な治療が求められる。また迅速な治療が要求されるとともに、術後の管理がしやすいことも重要である。これら小児歯科特有の条件に対し、歯科用レーザーの応用は非常に有用である。現在、歯髄処置には創傷治癒促進効果をもつHe-Neレーザーが応用されている。齲蝕予防には炭酸ガスレーザーやNd:YAGレーザーが用いられ、エナメル質への耐酸性付与が確認されている。口腔軟組織疾患には炭酸ガスレーザーが主に使用され、術中出血がなく、なおかつ治療が速やかで術後疼痛がほとんどないという点で効果を挙げている。さらに、歯の切削にはEr:YAGレーザーが使用され、痛みのない硬組織切削が可能となっている。これら全てのレーザーは小児に対して質の高い治療を提供している。

キーワード: レーザー, 小児歯科, 無痛治療**Abstracts**

Pediatric Dentistry requires methodology for fearless, painless, safe treatment with less time and convenient postoperative care. Laser treatment satisfies these conditions, making it very effective for the pediatric patients. Presently He-Ne laser has the high ability of healing the wound so that it is being used for pulp therapy. CO₂ laser or Nd:YAG laser is being used for dental caries prevention, which gives the acid resistance to the enamel. Moreover CO₂ laser is being mainly used for soft tissue problems; because the haemostasis can be immediately achieved during the surgery and the patient experience good wound healing with little or no pain post operation. Er:YAG laser has made it possible to prepare the cavity without pain by ablation of dental hard tissue. Hence all these modes offer a high quality treatment for child patients.

Key Words: Laser, pediatric dentistry, painless treatment

¹ 〒261-8502 千葉県美浜区真砂1-2-2 Tel.043-270-3958 Fax.043-270-3959
(1-2-2, Masago, Mihama-ku, Chiba 261-8502, JAPAN)

² 〒113-8549 東京都文京区湯島1-5-45 Tel.03-5803-5483 Fax.03-5803-0195
(1-5-45, Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8549, JAPAN)

Corresponding author : jkato@tdc.ac.jp

1. はじめに

小児歯科とは、特定の歯科疾患を専門とするのではなく、対象が小児であれば保存治療から外科処置まですべてを取り扱う診療科であるため、最も多岐にわたってレーザーが活用される分野といえる。これまでにHe-Neレーザー、Nd:YAGレーザー、炭酸ガスレーザー、Er:YAGレーザーが臨床応用されているが、小児歯科領域ではこれらの全てのレーザーの特長が生かされている。He-Neレーザーは、その創傷治癒促進効果を利用し、覆髄法や歯髄切断法などの歯髄温存処置で成果を上げており、またNd:YAGレーザーや炭酸ガスレーザーでは齲蝕予防効果が実証されている。炭酸ガスレーザーではさらに、蒸散効率の高さと随伴する熱障害の少なさから舌小帯強直症や粘液嚢胞などの軟組織疾患に対する外科的処置でも効果を上げている。Er:YAGレーザーでは、エナメル質を含めた硬組織の安全な切削や齲蝕除去が可能である。本解説では、まずはこれらのレーザーの特徴を述べ、小児領域での有効性についてまとめてみたい。

2. He-Neレーザーの歯髄処置への応用

歯髄は、比熱の高い硬組織に囲まれていることから一たび温度上昇すれば放熱しにくく、熱の発生を伴うレーザーの使用は難しい。He-Neレーザー(波長632nm)は、数mWから数10mWの出力範囲で使用される低出力レーザーで、人体に応用すると、その光化学的作用や電磁的作用によって創傷治癒促進、血流の改善・促進、鎮痛などの効果がみられる。低出力であるため熱の発生による組織の変性や傷害はなく、また可視光線のため照射部位を確認しながら照射できるので安全性の面からも使用しやすい。現在He-Neレーザーは、歯科領域では口腔内の難治性潰瘍や口内炎の治療、および象牙質知覚過敏症の治療などに利用されているが、このレーザーの特質からすれば乳歯や幼若永久歯の覆髄法や生活歯髄切断法などの歯髄温存処置への応用が最も効果的と思われる。

動物実験から、生活歯髄切断法において薬剤貼付(水酸化カルシウム)の前に1~2分間のHe-Neレーザー照射を行った例では、レーザー非照射群に比べて、速やかかつ多量の底蓋硬組織の形成がみられ、良好な結果を得た(Fig.1)。これはレーザー照射により歯髄細胞が活性化し、細胞の増殖・分化が促進された結果と考えられる¹⁾。実際の臨床において、乳歯や幼若永久歯を対象に、レーザーを併用して行った歯髄処置(覆髄法、歯髄切断法)でも、修復象牙質や底蓋硬組織の早期の形成がみられ、良好な治癒経過が得られている(Fig.2)²⁾。このように、特に学童期の第一大臼歯に代表されるような幼若永久歯において、早期の抜髄を可能な限り回避し歯髄の温存、賦活化をはかるためにも、He-Neレーザーのような低出力レーザーの歯髄処置への応用効果は十分あると考えられる。

3. 齲蝕予防(歯質強化)

レーザーによる歯質強化は、主に照射時の熱作用によって生じるエナメル質の物理的な変化による^{3,4)}。した

Fig.1 (a) H&E Longitudinal section -14 days after $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pulpotomy ($\times 100$).
(b) H&E Longitudinal section -14 days after $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pulpotomy with He-Ne laser irradiation ($\times 100$).
In the case of He-Ne laser irradiation the dentine bridge was recognized in a comparatively earlier stage of the experiment and better formed than that in the case of the unlased control.

Fig.2 (a) Intra oral periapical radiograph of an 8 year old girl with deep dental caries.
The patient had deep dental caries which has extended to the pulp horn from the mesial occlusal surface.
(b) Photograph taken following the removal of dental caries.
Dental caries has extended widely and deeply.
A pin-point pulp exposure was observed at mesial pulp horn. The exposure site was irradiated by He-Ne laser for 1 min and dressed with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ paste. Then the cavity was restored with glass ionomer cement.
(c) Post operative photograph taken three months after the treatment procedure.
The dentin bridge has completely covered the pulp exposure and the dentin area of the cavity has re-calcified.
(d) Post operative intra oral periapical radiograph taken 1 year after the treatment.
The thick dentin bridge was observed and the pulp has normally developed. The patient did not complain any pain.

Fig.3 (a) Scanning electron micrograph of the enamel surface immediately after CO₂ laser irradiation (energy density:15J/cm²).

The surface of the lased enamel has melted, slightly crazed, and showed white surface opacities or light brown discoloration. They were limited to a thin surface layer of the enamel.

(b) Photograph of the enamel surface 48 hours after in vitro dissolution (0.1M lactic acid with a pH of 4.5, maintained at 37°C).

The surface of the lased enamel was slightly roughened, but there was virtually no demineralization.

がって、基本的には、歯にレーザーを照射するだけで効果が得られ、①効果は不可逆的で即効性がある、②防湿などの準備を必要としない、③短時間の処置が可能である、④歯の萌出程度に関係なく適用できる、などの利点がある。反面、熱作用により歯面に亀裂や変色などを生じる場合もあるが、現在では、パルス波など余分な熱作用の少ない照射モードが普及し、そのようなケースは少なくなっている。また、歯質強化は健全歯だけでなく形成不全歯およびエナメル質減形成を伴う歯面への応用も可能であり、初期齲蝕に対する再石灰化促進も試みられている^{5,6)}。

エナメル質の耐酸性向上に関しては、Nd:YAGレーザーが早くから利用されており、炭酸ガスレーザーにおいてもその効果が認められている(Fig.3)。Nd:YAGレーザーに代表される組織透過型レーザーは、歯質においても透過性を持つため、照射時は墨汁などの吸収性色素を歯面に塗布する必要がある。一方、炭酸ガスレーザーは表面吸収型レーザーであり、歯質表層でエネルギーが吸収されるため、そのまま歯面に直接照射して使用する。現在はいずれもパルス波で、数Wの出力条件(エネルギー密度10 J/cm²~50 J/cm²)で使用されている。その結果、Fig.3のような、歯質表面のmelting, glazingが生じる。硬組織にこのような変化が生じる場合は、500°C~1000°Cの高温に達するとも言われ、亀裂や歯牙内部などへの熱影響が心配されるが、パルス波であること及びエアの併用により、実際には温度上昇は局所的かつ瞬間的なもので、歯牙全体の温度が上昇することはない。また、炭

Fig.4 (a) Photograph of a clinical case (an 11-year-old boy) with a partially erupted lower first molar with an operculum. The patient was at high risk of caries development because his deciduous second molar had been covered with metal crown.

(b) Photograph of the lower second molar after the removal of the operculum with a CO₂ laser and laser irradiation of the pit and fissure enamel. There was almost no change in the enamel surface.

(c) Photograph taken three years after laser irradiation to the occlusal surface. No dental caries was observed and the patient did not complain of any discomfort during the period of observation.

酸ガスレーザーでは照射歯質にやや白濁が見られる場合もあるが、経時変化(咬耗・磨耗など)により消失する範囲内であり臨床上的問題は無い。

実際の症例では、歯肉弁に覆われプラークが滞積して非常に不潔になりやすいが有効な予防手段がとりにくい萌出途中の第一大臼歯、第二大臼歯において特に有効と思われる。このような場合、炭酸ガスレーザーでは、多くの症例で無麻酔下に歯肉弁切除後、小窩裂溝に沿わせながら照射エネルギー密度約25 J/cm²の条件で連続的に照射すると、強い耐酸性が得られる(Fig.4)。術中に熱感等の訴えはなく、術後疼痛などの不快症状もない⁷⁾。このように、操作が簡便で所要時間が僅かであることも、レーザーによる予防処置が有用である理由のひとつである。

レーザーであれば歯質強化と同時に歯肉弁の切除を容易に行なうことができ、有効かつ確実な齲蝕予防処置となる。

4. 炭酸ガスレーザーの軟組織応用について

炭酸ガスレーザー(波長10.6 μm)は、その波長特性から生体組織の表層でほぼ全てのエネルギーが吸収されるため、軟組織の蒸散・切開効率が高く、止血能を有し、また治癒が速やかで術後疼痛がほとんどない。このよう

な特長から、小児の狭い口腔内においても安全に使用することができ、利用価値の高い医療機器といえる⁸⁻¹⁰⁾。炭酸ガスレーザーを小児の外科処置に使用した際の利点は以下の通りである。

- ①出血なく軟組織の切開・切除が可能であり、術中、明瞭な視野が得られる。創面表層には熱凝固層が形成され、縫合せず開放創のまま治癒を待つことができる。
- ②術式が簡略化され、麻酔量や処置時間が低減される。
- ③レーザーエネルギーによる非接触での切開・蒸散であるため、無菌的な処置となり、抗生剤の投与は原則不要である。
- ④エネルギーは照射部表層に集中し、周囲組織への熱傷害が少ない。このため術後の腫脹や疼痛がほとんど見られない。創面の治癒もはやい。
- ⑤縫合しないため、傷の拘縮、瘢痕はわずかであるか、または全く見られないことが多い。

多くの軟組織疾患症例に応用されているが、概ね2週間前後で組織の治癒がみられている。

以下、炭酸ガスレーザーの応用が特に有効な症例として、若年者に比較的多く見られる、粘液嚢胞の摘出について述べる (Fig.5)

粘液嚢胞は唾液腺の流出障害によって生じる貯留嚢胞で、下唇に多く頬粘膜、舌尖にもみられる。自壊しても再発を繰り返すことが多く、治療の基本は、粘液供給源となっている唾液腺を含めた嚢胞の全摘出となるが、口唇のような血管豊富な組織における嚢胞壁の剥離は容易ではない。しかし、上記のような特長から炭酸ガスレーザーを使用することにより嚢胞壁を破壊することなく容易に一塊として嚢胞を摘出することが可能であった。また縫合せず、開放創としたことで、所要時間の短縮、患者の負担の軽減につながったことに加え、治癒後の瘢痕がほとんど残らなかった。このことは、口唇が顔面の一部であり、審美性の観点からも望ましい結果であると考えられる。このように軟組織疾患において、手技の簡便化など小児歯科領域での有用性はもちろん、一般の治療においても炭酸ガスレーザーの利用価値は高いと考えられる。

5. 硬組織切削

Er:YAGレーザー (波長 $2.94\mu\text{m}$) は、その波長特性からエネルギーのほとんどが水に吸収されるため、硬組織中のわずかな水分子も瞬間的に気化し、微小爆発が生じることにより切削が進むと言われている^{11,12)}。実際の照射では照射面に水を噴霧しながら行うため、蒸散面の温度上昇はほとんど見られず、残存歯面に対する損傷は極めて少ない。また窩洞の形成面は凹凸を伴ったクレーター状を示し、象牙質形成面にはスメア層がみられないこと (Fig.6)、さらには切削と同時に形成面やその周囲に微小な凹凸が生じるため、あらためて酸で処理することなく、いわゆるレーザーエッチングの効果が得られることなどから、コンポジットレジンや、グラスアイオノマーといった接着性修復にはよく適していると言える^{13,14)}。このこ

Fig.5 (a) Photograph of a clinical case (a 12-year-old girl) with a mucocoele.

The patient showed a round shaped mucocoele of 5 mm in diameter in the lower lip.

(b) Photograph of incision of the mucocoele.

After administration of local anesthesia, soft tissue was incised by directing the laser beam vertically, about 0.5mm away from the junction between mucocoele and adjoining normal soft tissue.

(c) Photograph of the removal procedure of mucocoele.

After the incision of the mucocoele, the body of the mucocoele was grasped well with a tweezer and pulled up so that the root of the mucocoele could be clearly seen. And then, the root of mucocoele was incised gradually from all directions right round the mass.

(d) Photograph of immediately after the removal of mucocoele.

A coagulative surface layer was clearly formed by CO₂ laser irradiation, and as a result there was no bleeding during and after the operation. Suturing was not needed.

(e) Photograph of one week after the removal of mucocoele. Scab tissue covered the surface of irradiation. Almost all of the patients did not complain of any pain after the operation.

(f) Photograph of two weeks after the removal of mucocoele. New epithelium covered the wound and scar tissue was very less.

とは、内側性の直接修復処置の多い小児の齲蝕治療において利便性が高いと考えられる。また切削時の騒音・振動が少ないことや、タービンに比較して噴霧される水量が少ないことも、低年齢児の治療において有用である¹⁵⁾。

Fig.6 (a) Scanning electron micrograph of the enamel surface immediately after Er:YAG laser irradiation ($\times 400$). The enamel surface showed ablation and roughness. No crack was observed.
(b) Scanning electron micrograph of dentin surface immediately after Er:YAG laser irradiation ($\times 400$). The dentin tubules were clearly observed and there was no smear layer.

Fig.7 (a) Photomicrograph of a thin cross section of dentin irradiated by an Er:YAG laser.
(b) The schematic diagram of enlargement of the irradiated dentin surface.

The irradiated dentin surface was seen as a three-layered structure, the outermost surface (A) as amorphous structure, the middle layer (B) as the "degeneration zone of collagen" and the inner layer as the normal dentin (N).

なお、切削面の表層には、レーザー照射により何らかの変性が生じていると考えられ(Fig.7), コンポジットレジン充填時、歯質との接着に際しどのように変性層を処理すべきか、現在検討されている。変性層は接着を阻害するため、完全に除去しようとする考え方と、変性層を残したままHybrid層の中に取り込んでしまおうとする考え方に大別されるが、レーザー照射面(変性層)に対しても歯面処理は行うのが原則であり、当初考えられていたような、レーザーエッチングだけで他の歯面処理は行わずに接着を期待するということはない¹⁶⁻¹⁸⁾。

Fig.8は実際、齲蝕除去にEr:YAGレーザーを使用した

Fig.8 (a) Photograph of a clinical case (a 2-year-old child) with dental caries of the upper right deciduous tooth. The undermined dentinal caries in occlusal surface was observed.
(b) Photograph during cavity preparation using an Er:YAG laser. A mixture of air and water sprayed from the outer sheath of the contact tip, along with the laser beam.
(c) Photograph of immediately after cavity preparation using an Er:YAG laser. The duration of cavity preparation was about 150 seconds. After that the cavity was filled with a light cured composite resin, following the application of bonding agent, but without acid etching or primer conditioning.
(d) Photograph of 3 years after laser treatment. Undesirable effects were not observed in subjected tooth during the three-year period of observation.

症例である(100mJ~250mJ /10pps)。症例は2歳2ヶ月の男児で、上顎左側の第一乳臼歯に齲蝕を認める。齲蝕の開口部は比較的大きく、一部象牙質に達することが確認される。

レーザーによるエナメル質の切削は、エアタービン(歯科用ドリル)に比べると時間がかかるが、乳歯の場合はそもそも歯質が薄いため、切削の絶対量が少なく比較的快適に使用できる。特にこの症例のように齲蝕が広く露出しているような齲蝕では、除去を要するエナメル質部分が少なくレーザーによる窩洞形成に適している。

6. おわりに

小児でのレーザーの応用について焦点を絞って述べてきた。一般に、歯科でのレーザー応用の特徴は、対象が口腔内という非常に狭い領域であることに加え、軟組織と硬組織とが複雑に入り交じっていることにある。したがって、レーザーの操作性、照射野の視認性、加えて照射エネルギーの条件設定の精密さがポイントとなる。ま

たレーザーの生体に対する波長特性を十分理解した上で使用することも重要である¹⁹⁾。いままでレーザーといえは大きく高価で、使用法の難しい機器という印象が強かったが、現在では小児患者にも十分使用できるほど安全で操作性がよく、小型化されてきた。それに伴い適用範囲も飛躍的に広がり、“あれば非常に便利な医療機器”になっている。今後の課題は、価格のさらなる低減であろう。このハードルを乗り越えられれば、一般の歯科治療のなかでのレーザーの普及は、遠くない未来と思われる。

参考文献

- 1) T.T. Thwe and J. Kato : The comparative histopathological studies of pulpotomized pulp tissues of the developing rat molars with He-Ne laser and Nd-YAG laser irradiation, *Pediatric Dental Journal*, 6 : 69-76, 1996.
- 2) 加藤純二 : He-Neレーザーの小児歯科領域での応用, *小児歯科臨床*, 9 : 23-26, 2004.
- 3) H.Yamamoto and K. Sato : Prevention of dental caries by Nd:YAG laser irradiation, *J. Dent. Res.*, 59: 2172-2177, 1980.
- 4) B.O.Fowler and S. Kuroda: Changes in heated and in laser-irradiated human enamel and their probable effects on solubility, *Calc. Tiss. Int.*, 38: 197-208, 1986.
- 5) J.D.B. Featherstone, N.A. Barrett-Vespone, D. Fried, Z. Kantorowitz, et al: CO₂ laser inhibition of artificial caries-like lesion progression in dental enamel, *J. Dent. Res.*, 77:1397-1403, 1998.
- 6) 橋本雅子: Nd:YAGレーザー照射によるエナメル質形成不全歯への耐酸性付与に関する実験的研究, *小児歯誌*, 28:956-967, 1990.
- 7) J. Kato, K.Moriya, J.A. Jayawardena, R.L.Wijeyeweera, et al.: Prevention of dental caries in partially erupted permanent teeth with a CO₂ laser, *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*, 21: 369-374, 2003.
- 8) 加藤純二, 守矢佳世子, 橋本吉明, 高木裕三: 炭酸ガスレーザーを応用した小児の口腔外科処置 -小帯切除術への応用-, *小児歯誌*, 38 : 897-905, 2000.
- 9) 守矢佳世子, 加藤純二 : 小児の粘液嚢胞における炭酸ガスレーザーの応用, *日本レーザー歯学会誌*, 13 : 97-103, 2002.
- 10) 加藤純二, J.A.Jayawardena, R.L.Wijeweera, 守矢佳世子 : 炭酸ガスレーザーの小児口腔外科処置への応用, 途上国援助活動におけるレーザー応用, *口腔病学会雑誌*, 69 : 34-38, 2002.
- 11) M.Kumazaki and K.Toyoda : Removal of hard dental tissue (cavity preparation) with Er:YAG laser, *J. Jpn. Soc. Laser. Dent.*, 6: 16-24, 1995.
- 12) R.Hibst and U.Keller : Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances. I. measurement of the ablation rate, *Lasers Surg. Med.*, 9:338-344, 1989.
- 13) U.Keller and R. Hibst : Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances. II. Light microscopic and SEM investigations, *Lasers Surg. Med.*, 9:345-351, 1989.
- 14) 守矢佳世子, 加藤純二 : Er:YAGレーザー照射時における乳歯歯質の形態学的変化について, *日本レーザー歯学会誌*, 7 : 6-11, 1996.
- 15) J.Kato, K.Moriya, J.A.Jayawardena, R.L.Wijeyeweera : A clinical application of Er:YAG laser for cavity preparation in children, *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*, 21 : 151-156, 2003.
- 16) 加藤純二, 篠木毅, 守矢佳世子 : 各種レーザーの特徴と用途を整理する(3) 臨床での問題点 歯界展望, 96 : 625-638, 2000.
- 17) 井原総一郎, 平井義人, 見明康雄 : Er:YAGレーザー照射による象牙質表層の構造変化 日歯保存誌, 46 : 400-407, 2003.
- 18) 大前正範 : Er:YAGレーザー照射象牙質に対するコンポジットレジン接着強さーフッ化物およびグルタルアルデヒドの影響ー, *日歯保存誌*, 47:110-122, 2004.
- 19) 加藤純二, 栗津邦男, 篠木毅, 守矢佳世子(編著): 一からわかるレーザー歯科治療, 1-25医歯薬出版, 東京, 2003.

著者紹介

加藤 純二 (Junji Kato)

1980年東京医科歯科大学歯学部卒業, 1985年同大学院歯学研究科博士課程修了 歯学博士(小児歯科), 2000年～2002年JICA(国際協力事業団) 専門家, 2004年より東京歯科大学歯科保存学第三講座講師, 編著に「一からわかるレーザー歯科治療」(2003年) 医歯薬出版, 日本レーザー歯学会指導医・認定医, 日本小児歯科学会認定医。

守矢 佳世子 (Kayoko Moriya)

1994年東京医科歯科大学歯学部卒業, 1994年～2002年同大学小児歯科学講座, 2002年より同大学大学院医歯学総合研究科摂食機能保存学講座う蝕制御学分野, 編著に「一からわかるレーザー歯科治療」(2003年) 医歯薬出版, 日本レーザー歯学会指導医・認定医, 日本小児歯科学会認定医。

日本レーザー歯学会指導医・認定医, 日本小児歯科学会認定医。