小児歯科領域におけるレーザー治療の応用

加 藤 純 二

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

(受付 : 2009 年 7 月 31 日, 受理 : 2009 年 8 月 31 日)

Application of Laser Treatment in Pediatric Dentistry

Junji KATO

Cariology and Operative Dentistry, Department of Restorative Sciences,
Graduate School, Tokyo Medical and Dental University

(Received: July 31, 2009, Accepted for Publication: August 31, 2009)

Abstract: Treatment methods in pediatric dentistry must be painless, safe, and relatively short to avoid fear in the patient and allow convenient postoperative healing. Laser treatment satisfies these criteria, making it very effective for pediatric patients. Low level lasers such as the He-Ne laser, diode laser and Nd:YAG laser are currently used for pulp therapy to accelerate pulp wound healing, whereas the CO₂ laser and Nd:YAG laser are used for dental caries prevention by making enamel acid resistant. The CO₂ laser is mainly used for soft tissue problems because hemostasis can be achieved rapidly during surgery and the patient experiences good wound healing with little or no postoperative pain. The Er:YAG laser allows preparation of a cavity without pain by ablation of dental hard tissue. In this paper, we discuss the effectiveness of laser therapy for pediatric patients in clinical procedures from deciduous dentition to permanent dentition.

(J. Jpn. Soc. Laser Dent. 20 : 135 ~ 141, 2009 Reprint requests to Dr. KATO)

Key words = Laser, Pediatric dentistry, Painless treatment

キーワード=レーザー, 小児歯科, 無痛治療

緒 言

小児歯科とは特定の歯科疾患を専門とするのではなく、小児の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。現在、He-Ne レーザー (波長 630nm)、半導体レーザー (波長 810nm)、Nd:YAG レーザー (波長 1.064 μ m)、Er:YAG レーザー (波長 2.94 μ m)、炭酸ガスレーザー (波長 10.64 μ m) など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¹⁾。低出力での He-Ne レーザー、半導体レーザー、Nd:YAG 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に使用され、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。さらに炭酸ガスレーザーでは、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においても治療効果を上げている。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。

一方、小児期は人の一生の中で最も成長著しい時期であり、良くも悪くもこの時期の口腔環境がその人の一生の口腔状態を左右するといっても過言ではない。健全な永久歯列を獲得し、維持していくためにも適切な治療と管理が求められる時期である。

本論文では、レーザーの応用法を、無歯顎での誕生から永久歯列完成までを大きく 3 つのステージに分けて考える。まず乳歯列の完成まで、続いて永久歯との交換期である混合歯列期、最後に永久歯列完成期である。ステージごとに、それぞれの時期における治療目標と、その時期に見合ったレーザーの応用法についてまとめる。

乳歯列期

乳歯列期の一つの大きな目標は、永久歯が萌出する前、それも第一大臼歯萌出前に、カリエスリスクを最小限にすることである（図1）。主な処置は未処置歯をなくすことと、その後の管理ということになる。う蝕処置のポイントは二つで、まず確実性の高い処置であること、例えば、何度も脱離を繰り返すような修復は避ける必要がある。もう

- 永久歯萌出前に口腔衛生環境を整える
 1. 齲蝕歯への対応
 - 確実性の高い処置
 - 正しい萌出位置への誘導
(特に第一大臼歯)
 2. 定期管理・予防
- 口腔機能の発育を促す
 - 舌小帯への対応
- 低年齢児の取り扱い
 - 不意な動き
 - 痛み

図1 乳歯列期の目標

一つは、永久歯の正しい萌出位置への誘導、これは、永久歯の萌出位置を狂わせる要因はなるべく作らない、ということになる。また、同時にこの時期には舌小帯への対応、それから患児の協力度に対する配慮も必要である。

1. う蝕処置とEr:YAGレーザー

まず、う蝕への対応である。図2のような第一乳臼歯と第二乳臼歯間の隣接面う蝕は、乳歯ではよくみられるが、歯髄処置に移行することのないよう確実な処置が望まれる。そのためには、軟化象牙質をとり残さないこと、また、乳歯は永久歯に比べて歯質が薄く、特に第一乳臼歯などで髄角が発達しているので、適宜覆髄処置を行うことが大切である（図2）。丁寧な充填操作で窩洞辺縁を確実に封鎖することが、二次う蝕の発生を防ぐ意味でも重要である。

コンポジットレジンによる直接修復の多い小児のカリエスにとって、Er:YAGレーザーは有用性が高いレーザーである^{2,3)}。切削時の騒音、振動が少ないことや、タービンより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。Er:YAGレーザーは、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やその周囲の水分子が瞬間的に気化し、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⁴⁻⁶⁾。レーザーによるエナメル質の切削は永久歯ではエアータービンより比べると

図2 う蝕処置（3歳）

- a. 術前：下顎第一、第二乳臼歯の咬合面およびその隣接面にう蝕が認められる。
- b. う蝕除去後：Er:YAGレーザー（アーウィン、モリタ社）でう蝕を除去する。照射条件は、注水下で出力80-150mJ/10pps.
- c. 歯髄保護：う窩の深いところや髄角相当部は歯髄保護を行う。
- d. コンポジットレジン修復直後：確実な辺縁封鎖をおこなう。

図 3 歯髄処置 (5 歳)

- 術前のレントゲン像：下顎第二乳臼歯に歯髄処置が施されているが、根分岐部に大きな X 線透過像が認められる。下顎第一乳臼歯は遠心隣接面に髓角に至る部位に X 線透過像が認められる。
- 根管口明示：麻酔下にエアータービンで窩の開拡をおこない、根管口を明示する。下顎第二乳臼歯では、根管内に易出血性の不良肉芽組織がみられる。下顎第一乳臼歯は歯冠部歯髄を除去した。
- レーザー応用後：下顎第二乳臼歯は、Er:YAG レーザー（アーウィン、モリタ社）（出力 80mJ/10pps 注水なし）で根管内の不良肉芽組織の除去をおこなう。レーザーを照射しながらファイリングをおこなうと効果的である。水酸化カルシウム製剤（ビタペックス、ネオ社）で根管充填をおこなう。第一乳臼歯は根管口部でレーザー照射し FC 断髄した。
- 6 ヶ月後のレントゲン像：下顎第二乳臼歯において根分岐部の透過像の消失が認められる。

時間がかかるが、乳歯の場合は永久歯に比べてエナメル質が薄く硬度も低いので、エアータービンとほぼ同程度の時間で切削が可能である^{2,3)}。

2. 歯内療法とレーザー

乳歯はう蝕の進行が早く歯髄処置にいたる場合が多い。覆髄や断髄などの歯髄温存療法において、歯髄を活性化させ治癒力を促進する目的で、低出力の Nd:YAG レーザー、半導体レーザー、そして He-Ne レーザーの使用は有効である^{7,8)}。修復象牙質あるいは庇蓋硬組織などの速やかな形成が期待できる。

また、乳歯の病的歯根吸収を伴った感染根管治療の際、レーザーの応用は効果的である。図 3 の症例では、下顎第二乳臼歯は断髄が施してあるが、根分岐部に大きな透過像がみられ、その遠心に第一大臼歯が近接している。下顎第二乳臼歯は抜歯の適用症例とも考えられるが、第一大臼歯の萌出が近い時期では、第二乳臼歯の存在は第一大臼歯の萌出位置を誘導する意味で重要であるため、抜歯するか否か悩むところとなる。歯根の吸収が進み感染病巣をもった乳歯は、不良肉芽組織が存在し、易出血性で根管治療が難しい。もし根管治療が可能なら第一大臼歯の萌出完了まで、第二乳臼歯を一時的に保存することができる。このような場合、丁寧なレーザー照射とファイリングを交互に行

うことによって、不良肉芽組織の除去が容易になり、止血も得られ、根管充填が可能になる（図 3）。レーザーは透過性のない蒸散効果の高い炭酸ガスレーザーや Er:YAG レーザーが使用しやすいが、直下に後継永久歯胚があるので、過度の高出力照射は厳禁である。そして、乳歯の保存は、第一大臼歯の萌出後、対合歯と咬合するまでを一つの目標とする。

3. 舌小帯強直症への応用

舌小帯の異常は発音に影響することがある。そのため、発音・構音機能の完成する前、すなわち就学直前に処置を行うことが望ましい。図 4 に示すとおり、レーザーを用いると術式が簡単になる。術中の舌の固定はバキュームで十分で、縫合糸で舌尖を牽引する必要はない。また、術中、術後出血がほとんどなく、縫合もほとんど必要ないため、少量の麻酔ですみ、短時間で治療がすむ。術後の痛みが少ないのも特長のひとつである。種々のレーザーで応用可能であるが、適度な止血効果の得られる炭酸ガスレーザーが最も使いやすい⁹⁾。

乳歯列期とは、年齢的には未就学の乳幼児であり、発達の差が大きい時期である。多少の不快感があっても治療のためと理解して我慢できるようになるのは、概ね年長園児になってからである。それ以前の子どもでは痛みが非協力

図4 舌小帯切除 (6歳)

- a. 術前：舌小帯の短縮がみられ、舌を口蓋に接触させることができない。
- b. 術中：局所麻酔下で、炭酸ガスレーザー（ベルラクサー、タカラベルモント社）（連続波出力2-3W）で、小帯を切除する。バキュームチップで舌を吸引し固定する。
- c. 術直後：創面には炭化層が一部認められるが、出血はない。舌の上前方への伸展が可能になる。このケースでは縫合は不要。
- d. 2週後：創面はほぼ治癒し、舌の伸展がみられる。

のトリガーとなるため、レーザー使用時の観血処置でも確実な除痛（局所麻酔）が必要である。また、一見協力的な子どもにみえても、急に手を振り払うなど、突発的な動作をすることがあるので、特にレーザー照射時には注意が必要である。

混合歯列期

この時期は永久歯の萌出期にあたり、全ての処置は永久歯の保護を第一として考えておこなう（図5）。特に萌出途上の大臼歯はう蝕になりやすく、積極的に予防を行う。それに対してこの時期の乳歯は、いつ抜けるか、あるいはいつ抜くか、がポイントとなる。上唇小帯への対応はこの時期に行い、粘液嚢胞にもしばしば遭遇することがある。

1. 齲蝕予防

第一大臼歯では、萌出完了前のう蝕を高頻度に経験する。特に遠心歯肉弁の残存は清掃不良をもたらす、予防処置が不完全なものになる。レーザーは、歯肉弁の切除が容易にでき、同時に歯質強化も可能である。

レーザーによる歯質強化は、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^{10,11)}。したがって、歯にレーザーを照射するだけで効果が得られ、効果は不可逆的で即効性がある、防湿などの準備を必要としない、短時間の処置が可能である、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

- 萌出途上大臼歯の保護
 - 積極的予防
- 正しい永久歯配列への誘導
 - 後継永久歯に配慮した対応
 - 上唇小帯への対応
- 交換期に多い口腔軟組織疾患
 - 粘液嚢胞への対応

図5 混合歯列期での目標

場合は少なくなっている。また、レーザーによる歯質強化は、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期待できる^{12,13)}。

炭酸ガスレーザーは、歯肉弁を効率よく切除でき、歯質強化が得られる¹⁴⁾（図6）。Er:YAGレーザーの場合、歯質への照射は歯質が切削されるので歯質強化のみを目的とした照射には不適である。また歯質透過性の高いNd:YAGレーザーや半導体レーザーは、耐酸性の付与効果は高いが、歯質表面にレーザー光を吸収させるために照射時に墨汁などの吸収性色素を歯面に塗布する必要がある¹⁰⁾。

2. 軟組織疾患

上唇小帯の切除は原則的にこの時期に行う。舌小帯の場

図 6 幼若永久歯のう蝕予防 (6 歳)

- a. 術前：下顎第一大臼歯咬合面遠心に厚い歯肉弁が認められる。局所麻酔下に、炭酸ガスレーザー（ペルラクサー，タカラベルモント社）（連続波出力 3 W）を用いて歯肉弁を切除する。その後、小窩裂溝に沿わせながらレーザー（エネルギー密度約 $25\text{J}/\text{cm}^2$ ）を歯質表面に照射した。
- b. 3 年後：う蝕の発生は認められない。

図 7 粘液嚢胞摘出 (13 歳)

- a. 術前：下口唇に粘液嚢胞がみられる。
- b. 術中：局所麻酔下に炭酸ガスレーザー（ペルラクサー，タカラベルモント社）（連続波出力 3 W）を使用。嚢胞周囲をマーキングする要領で、深さ 0.5mm ～ 1 mm 程度切開線を入れる。
- c. 術中：嚢胞上部をピンセットで挟んで引き上げ、レーザーを嚢胞頸部に照射すると、容易に摘出できる。
- d. 嚢胞摘出直後：創面の一部に炭化層がみられる。縫合は不要な場合が多い。
- e. 4 日後：創面は偽膜で覆われている。術後疼痛はほとんどない。
- f. 2 週後：創部は縮小し、周囲に炎症はみられない。

合と同様に、小帯を緊張させ、歯肉よりから照射していくと、菱形の創面ができる。縫合は行わず、創面の治癒を待つ⁹⁾。炭酸ガスレーザー、Er:YAG レーザーであれば、2 週間くらいで治癒する。

混合歯列期には粘液嚢胞も良く見られる（図 7）。これは、歯の交換によって、咬傷や粘膜への慢性刺激が起きやすくなるためと考えられている。粘液嚢胞の摘出の際は、嚢胞をつぶさないよう周囲から丸ごとえぐりだす感覚で行

う¹⁵⁾。これも、多くの場合、開窓状態のまま治癒を待つ(図7)。炭酸ガスレーザー、Er:YAGレーザーは、2週間以内に治癒が見られるが、半導体レーザーやNd:YAGレーザーでは、照射時における厚い熱凝固層の出現のため治癒が遅延する傾向がある。

幼若永久歯列期

この時期は小学校高学年～思春期に相当するので、本人に自覚させ、齲蝕をつくらないようにすること、できてしまった齲蝕は早めに対応し進行させないこと、そして、不幸にも進行してしまった齲蝕に対しては、可能な限り歯髄を残すような対応をすること、の3つが目標となる(図8)。

萌出直後の幼若永久歯では、切削量は最小限に留めた、

- ・ 予防と啓蒙
 - － 自己責任を自覚させる
- ・ 齲蝕を進行させない
 - － 早期発見とMI
- ・ 可能な限り歯髄を残す
 - － 覆髄法の可能性

図8 幼若永久歯列期での目標

いわゆるMIの適用が望まれる。このようなとき、Er:YAGレーザーとフローの良いレジンの組み合わせは有効である。幼若永久歯では、軽度のう蝕に見えても、実際切削してみると、う蝕が象牙質内に広がっている場合の頻度は少なくない。したがって、丁寧な診査によるう蝕の早期発見、早期対応が欠かせない。

図9は、初期対応が不十分で深く進行してしまった幼若永久歯う蝕例である。コンポジットレジンによる不良な修復処置が行われており、う蝕除去後、一部点状露髄が認められる。幼若永久歯の歯髄の生命力は強いいため、覆髄法は有効である。このような症例では、歯髄の回復、活性化を目的に低出力レーザー(He-Neレーザー、Nd:YAGレーザー、半導体レーザーにおいて応用可能)を使用し、水酸化カルシウム製剤を貼付すると速やかな庇蓋硬組織の形成が得られる⁸⁾。

結 語

小児・若年者の治療では、いかに永久歯をう蝕にさせず、かつ正しい位置に萌出させるかが終始一貫した治療目標になる。そのためには、乳歯列の段階でう蝕を完治させること、幼若永久歯には積極的に予防処置を行うこと、う蝕は小さいうちに確実に止めること、歯髄は極力保存に努めること、などが重要である。そして、治療時に恐怖感や痛みを与えない安全かつ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。アプローチ

図9 深在う蝕処置(7歳)

- a. 術前：下顎第一大臼歯の不良修復物がみられ、大きなう蝕が認められる。
- b. 軟化象牙質除去後：一部に点状露髄がみられる。He-Neレーザー照射後(ベルビーム、タカラベルモント社)(連続波出力6mW、2分間照射)、水酸化カルシウム糊剤を貼付し、グラスアイオノマーセメントで暫間修復を行った。
- c. 6ヵ月後：点状露髄した部位に庇蓋硬組織の形成が認められる。グラスアイオノマーセメントで裏層し、コンポジットレジン修復を行った。
- d. 2年後のレントゲン像：歯髄腔は連続した硬組織で覆われている。

の仕方にはいろいろあるが、レーザーは正しく使用すれば、通法に比べて迅速かつ低侵襲的に使用できることが多く、小児・若年者の治療で有効活用される場面は多いと思われる。

文 献

- 1) 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, 第1版, 東京, 2003, 医歯薬出版, 1-25.
- 2) 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. 日レ歯誌, 7: 6-11, 1996.
- 3) Kato J, Moriya K, Jayawardena JA, et al: A clinical application of Er:YAG laser for cavity preparation in children. J Clin Laser Med Surg, 21: 151-156, 2003.
- 4) 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: 338-344, 1989.
- 5) Keller U, Hibst R: 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.
- 6) Kumazaki M, Toyoda K: Removal of hard dental tissue (cavity preparation) with Er:YAG laser. J Jpn Soc Laser Dent, 6: 16-24, 1995.
- 7) Thwe TT, Kato J: The comparative histopathological studies of pulpotomized pulp tissues of the developing rat molars with He-Ne laser and Nd-YAG laser irradiation. Pediatric Dent J, 6: 69-76, 1996.
- 8) 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.
- 9) 加藤純二, 守矢佳世子, 橋本吉明, 他: 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.
- 10) Yamamoto H, Sato K: Prevention of dental caries by Nd:YAG laser irradiation. J Dent Res, 59: 2172-2177, 1980.
- 11) Fowler BO, Kuroda S: Changes in heated and in laser-irradiated human enamel and their probable effects on solubility. Calc Tiss Int, 38: 197-208, 1986.
- 12) Featherstone JDB, Barrett-Vespone NA, Fried D, et al: CO₂ laser inhibition of artificial caries-like lesion progression in dental enamel. J Dent Res, 77: 1397-1403, 1998.
- 13) 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.
- 14) Kato J, Moriya K, Jayawardena JA, et al: Prevention of dental caries in partially erupted permanent teeth with a CO₂ laser. J Clin Laser Med Surg, 21: 369-374, 2003.
- 15) 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. 日レ歯誌, 13: 97-103, 2002.
- 16) 加藤純二, Jayawardena JA, Wijeweera RL, 他: 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—. 口病誌, 69: 34-38, 2002.