

〔原著〕 松本歯学 18 : 30~38, 1992

key words: Nd: YAG レーザー - ヒト抜去歯 - 形態変化 - 温度変化

レーザー照射によるヒト抜去歯の形態および温度変化について

小幡明彦, 宮崎顕道, 白井竹郎, 佐藤陽一,
上島真二郎, 出口敏雄

松本歯科大学 歯科矯正学講座 (主任 出口敏雄 教授)

山岸利夫, 伊藤充雄

松本歯科大学 総合歯科医学研究所 生体材料部門 (主任 伊藤充雄 助教授)

Changes of Surface and Temperature in Human Extracted Teeth with Laser Irradiation

AKIHIKO OBATA, AKIMICHI MIYAZAKI, TAKERO SHIRAI,
YOUICHI SATO, SINJIRO KAMIJIMA and TOSHIO DEGUCHI

*Department of Orthodontics, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. T. Deguchi)*

TOSHIO YAMAGISHI and MICHIO ITO

*Institute for Dental Science, Department of Biomaterials,
Matsumoto Dental College
(Chief : Asso. Prof. M. Ito)*

Summary

The purpose of this study was to investigate morphological changes of dentin and enamel surfaces, and temperature increments of the pulp in extracted mandibular incisor teeth irradiated with pulsed Nd: YAG laser.

The results were as follows.

- (1) No changes of enamel surface were observed in non-coated laser absorption samples irradiated with 3, 6, 12J/P.
- (2) Circle-like structures on enamel and dentin surface were observed in coated laser absorption group irradiated with 3, 6, 12J/P.
- (3) Magnification of rough enamel surface was observed to be in proportion to the intensity of radiation.
- (4) Temperature in the pulp of non-coated teeth rose above 100°C, however that of

black-coated teeth decreased by one-half.

- (5) Secondary ascendant point was observed 7-8 seconds after irradiation in the coated teeth group.

結 言

Maiman¹⁾が1960年にルビーレーザーの発振に成功して以来、Stern²⁾がルビーレーザーをヒト抜去下顎前歯に照射し、エナメル質の耐酸性の向上を発表している。また、近年歯科領域においては、高出力レーザーが外科手術での止血や切開用に用いられ³⁾、生活断髄法や、う蝕予防、さらには窩洞形成の領域にも広がっている⁴⁻⁶⁾。そして、低出力レーザーすなわちソフトレーザーの応用は、象牙質知覚過敏症や口腔粘膜疾患の治療に用いられることが報告されている⁷⁻⁹⁾。

本報は矯正治療中に生ずることの多い口腔内固定装置周囲の初期う蝕に着目し、レーザー照射によるその治療と予防の効果について検索することを目的とした。今回、基礎的実験としてヒト抜去歯にレーザー照射を行い、その表面状態の変化と髓腔内温度変化について観察・測定を行った結果を報告する。

材料と方法

ヒト抜去下顎前歯を、10%ホルマリン溶液で固定し、超音波スクレーパーおよびJet polisher (Deldent 社)にて表面沈着物を除去した後、エナメル質表面に白濁、着色、う蝕のない歯を選び、蒸留水中に保存し実験に供した。

レーザー装置は高出力パルス発振 Nd:YAG レーザー (ミヤチテクノス ML-2220A) で、パルス幅および電圧を設定し、1回照射毎にパワーモニターに Joule/Pulse が表示されるものである。

照射出力は、3 Joule/Pulse (J/P)、6 J/P、および12J/Pにて、パルス幅50 msecで行った。焦点合わせを、He-Ne ガイド光線およびテレビモニターにて歯表面のレーザー照射部に行った。

実験は下記の2条件について検索した。

1. レーザー照射後のエナメル質および象牙質表面の観察

唇面エナメル質および#600までの耐水ペーパーにて露出させた象牙質平滑面に、Nd:YAG レーザーがエナメル質表面に作用しにくい性質を考慮

し¹⁰⁾、黒色素として墨汁、油性黒色インクを唇面に塗布した群と非塗布群とに分け、各ジュール数で1回のレーザー照射を行い、照射面に金蒸着後走査型電子顕微鏡 (日本電子 JEM 100-B) にて観察した。

2. レーザー照射時の髓腔内温度変化の測定

図1はレーザー照射部位を示す。すなわち歯冠長の1/2、歯頸部、およびこの2点間と同距離の歯根部の3点に、#2のエアタービン用バー (松風) にて隣接面より髓腔内に向け穿孔を行った。穿孔箇所アルメル・クロメル熱電対を挿入固定した。実験1と同様に黒色素塗布群および、非塗布群に、歯冠部熱電対直上の歯面に垂直にレーザー照射を行い、経時的温度変化を3チャンネルレコーダー (TOA INR6000) にて各5本計測記録した。

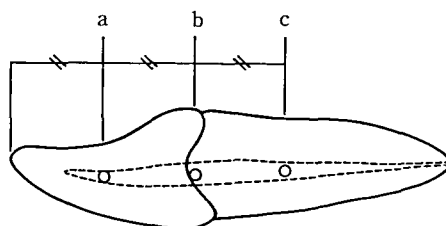


Fig. 1: Temperature-measuring position
a: crown b: neck c: root

結 果

1. レーザー照射後のエナメル質および象牙質表面の観察

1) エナメル質色素非塗布レーザー照射歯

図2(a)はレーザー照射しない歯の表面である。図2(b)は色素非塗布群で12J/Pで照射した歯の表面であるが、3、6、12J/Pの3条件下においても、エナメル質の形態変化は認められなかった。

2) エナメル質に色素を塗布した歯へのレーザー照射

エナメル質に色素として墨汁および油性黒色インク塗布を行ったあとに、レーザー照射を行うと、エナメル質の表面は剝離と溶解の混在した像が類円形状に観察された(図3 a, b)。図3は照射に

よる影響を受けたエナメル質部を示す。照射出力の増加にともない表面が粗造となり、エナメル小柱の露出傾向が強く認められた(図3 c, d)。

3) 象牙質に色素を塗布しない歯へのレーザー照

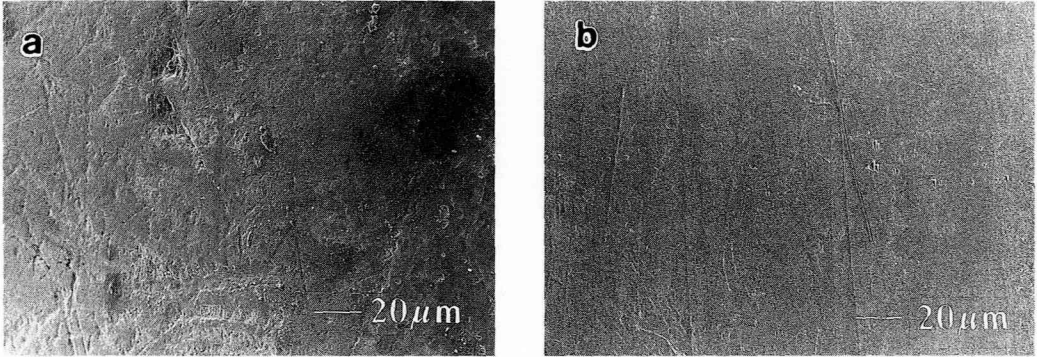


Fig. 2: SEM pictures of non-coated enamel surfaces

a: control
b: 12J/P

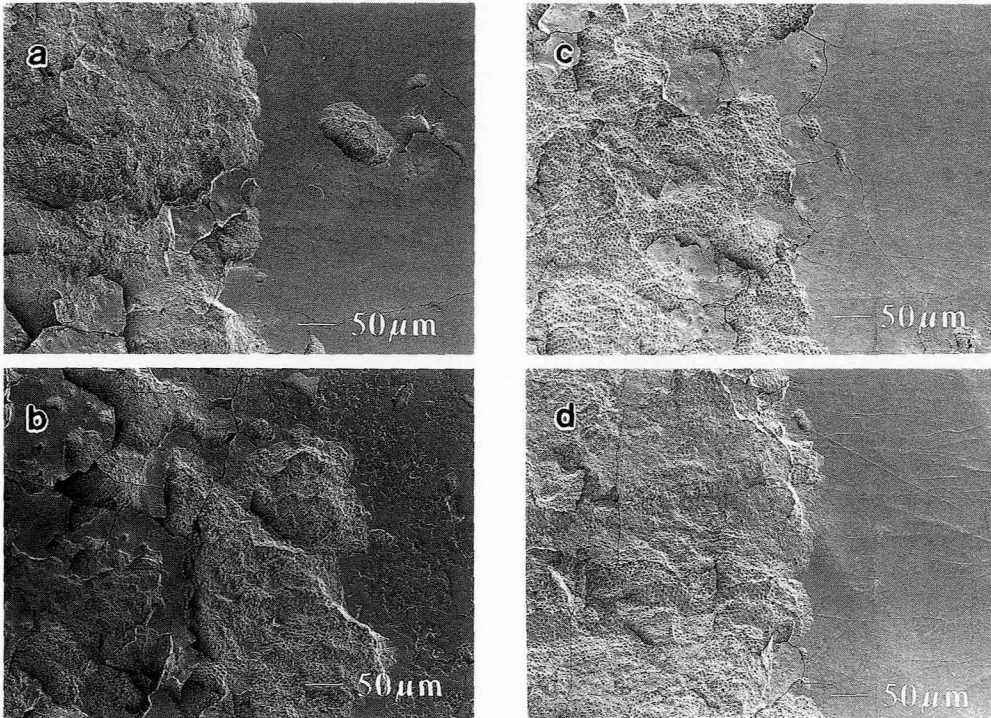


Fig. 3: SEM pictures of laser absorption dye-coated enamel surfaces

a: 6J/P bokuju c: 12J/P bokuju
b: 6J/P black dry ink d: 12J/P black dry ink

射

類円形の陥没像が象牙質表面に多数観察され、陥没部と象牙質表面との境界は極めて明瞭であった(図4 a, b), また図4 (c, d)に示すように、照射出力の増加によって、象牙質表面の溶解に伴う一部象牙細管の閉鎖が観察された。

4) 象牙質に色素を塗布した歯へのレーザー照射

図5 (a, b, c, d)は3 J/Pでの照射条件のものであり、象牙質表面は類円形の陥没像を呈し、その周囲は溶岩状を示している。図5 (e, f, g, h)は12J/Pで照射した状態である。照射出力の増加により表面は粗造化し、溶解にともなう象牙細管の閉鎖傾向が観察された。

5) 塗布材の種類と歯の表面形態の変化について

図3 (a, c)はエナメル質への、図5 (a, b, e, f)は象牙質への墨汁塗布群を示し、図3 (b, d)はエナメル質への、図5 (c, d, g, h)は象牙質への油性黒色インク塗布群であ

る。塗布材の種類による形態変化の違いは明確ではなかった。

2. レーザー照射時の髓腔内温度の測定

1) 温度上昇について

図6 (a, b, c)に示すように、色素非塗布群では、レーザー照射した歯冠部での温度変化が他と比較して極めて高く、歯頸部と色素塗布した歯冠部ではほぼ同様の傾向を示している。他の測定点では平均1°Cから2°Cの温度上昇を示し、照射部位からの距離と黒色色素塗布によって温度上昇は抑制された。

2) 塗布材の種類と温度変化について

表1に示すように、塗布材の種類により、髓腔内温度上昇に差が生じ、墨汁塗布群が油性黒色インク塗布群よりも6 J/Pで約3.5°C、12J/Pでは約8.0°C低い値を示し、高出力の方が塗布材の種類による温度差は大きい。

3) 温度変化のパターンについて

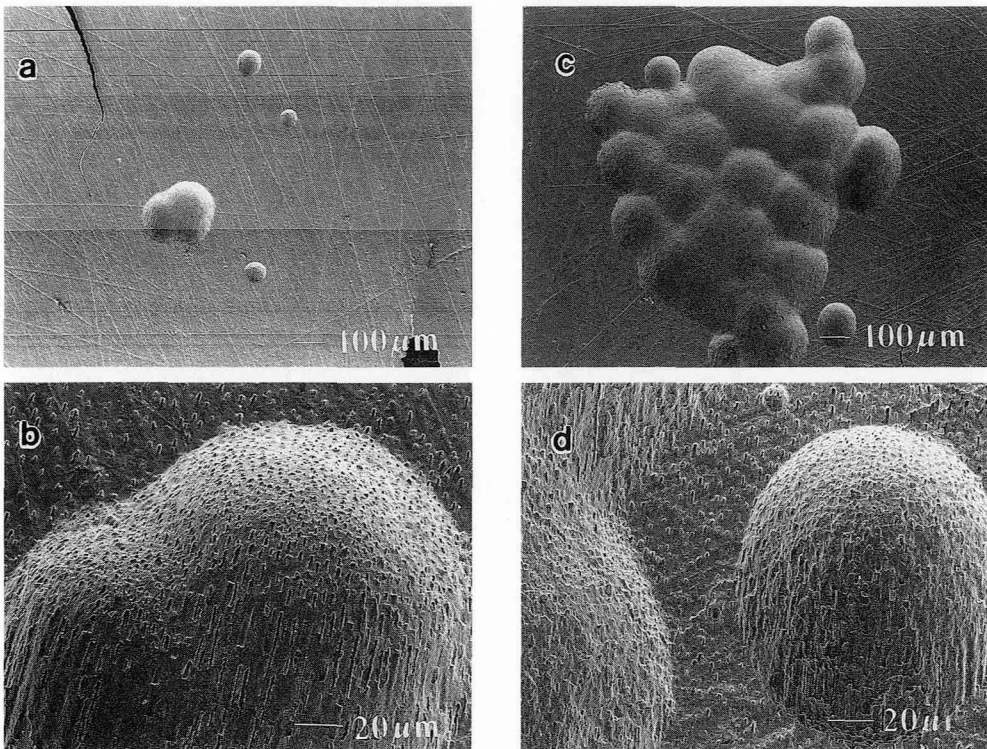


Fig. 4: SEM pictures of non-coated dentin surfaces

a-b: 3J/P

c-d: 12J/P

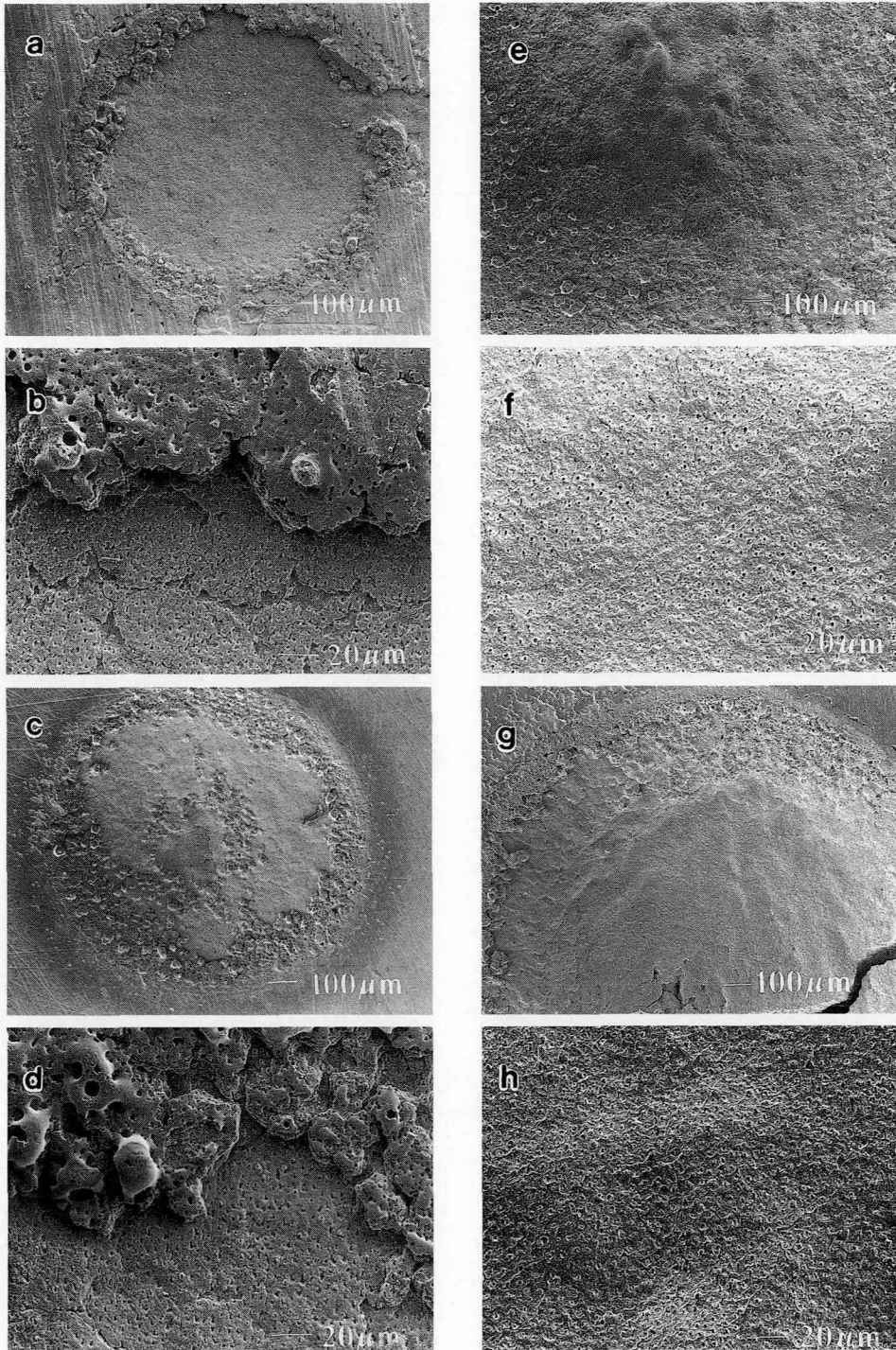


Fig. 5: SEM pictures of laser absorption dye-coated dentin surfaces

a-b: 3J/P bokuju

e-f: 12J/P bokuju

c-d: 3J/P black dry ink

g-h: 12J/P black dry ink

温度変化の経時的パターンは、色素塗布の有無により異なった結果を示した。図7は6 J/P照射時のものである。色素非塗布群での結果、温度上昇が照射直後は認められるが、急速に温度は低下傾向を示している(図7 a)。一方、色素塗布群では、温度は照射直後に上昇し一度下降するが、約7から8秒後に再び上昇が認められ、その後低下傾向を示している(図7 b)。この温度上昇の第2ピークは、3 J/Pで約32°C、6 J/Pで約34°C、12 J/Pで約35°Cであった(表2)。塗布材の種類の違いによる温度差は平均で1°C以内であった。

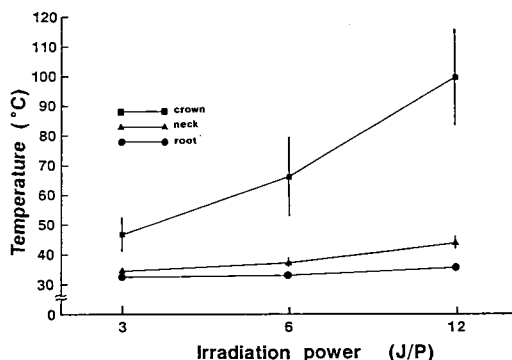


Fig. 6-a: Temperature increments of pulp chamber with respect to irradiation power non-coated n=10

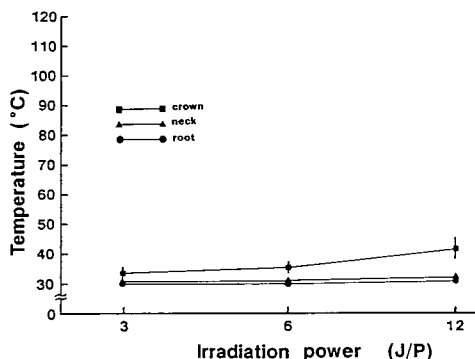


Fig. 6-b: bokuju coated n=5

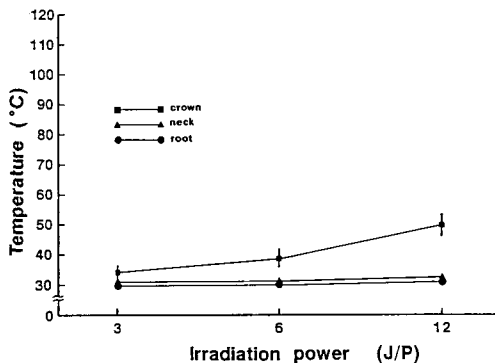


Fig. 6-c: black dry ink coated

Table 1: Temperature in pulp chamber after laser application

laser dye	non-coated			bokuju			black dry ink		
	3	6	12	3	6	12	3	6	12
crown	47.5 (5.3)	66.5 (12.9)	99.5 (16.0)	33.5 (1.8)	35.5 (1.6)	42.0 (3.7)	34.5 (2.1)	39.0 (3.1)	50.0 (3.5)
neck	35.0 (0.9)	38.0 (1.5)	44.5 (2.1)	30.5 (0.2)	31.0 (0.2)	32.0 (0.2)	31.0 (0.4)	30.5 (1.0)	32.5 (0.5)
root	33.0 (1.1)	33.5 (1.1)	36.0 (1.9)	30.0 (0.2)	30.0 (0.2)	31.0 (0.2)	30.0 (0.2)	30.5 (0.3)	31.0 (0.2)

non-coated: n=10, bokuju and black dry ink: n=5

(): S. D.

Irradiation power: Joule/Pulse

Table 2: Second temperature peak

laser dye	bokuju			black dry ink		
	3	6	12	3	6	12
crown	31.8 (0.5)	34.2 (2.4)	34.5 (0.7)	32.0 (0.0)	33.7 (0.5)	35.5 (1.5)

n=5, (): S. D.

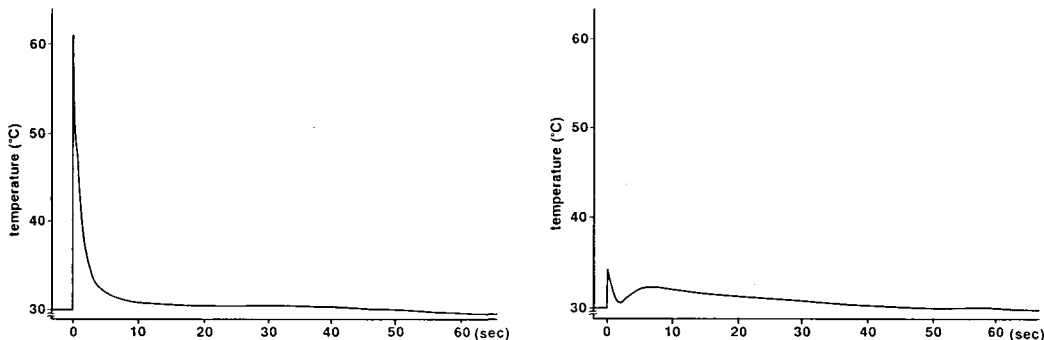


Fig. 7: Pattern of crown pulp chamber temperature increments with respect to time
a: 6J/P non-coated b: 6J/P laser absorption dye-coated

考 察

近年、レーザーは各種の装置が製品化されつつあり、著者が研究で用いた装置は主に金属溶接用として開発されたNd:YAGレーザー装置であるため、口腔領域に用いられる装置と違い、出力が高い照射エネルギーまで設定されている。また装置によってもその設定条件に違いがあり、Nd:YAGレーザー装置といっても一概に比較することは困難である。そこで今回は、ヒトの歯の中でも比較的平滑な面が得られ、歯髄までの距離も短い下顎前歯を選び、レーザー照射を行い、照射エネルギーの歯への影響について検討した。

Nd:YAGレーザーは黒色素を塗布した歯に選択的に作用すると報告されており^{5,11,12}、本実験では高出力で歯に照射した場合の歯の表面形態の変化および、髓腔内温度変化の両者を調べた。色素塗布エナメル質と象牙質に形態変化を認めたが、髓腔内測定温度は、約50°Cと比較的低い温度に抑えられていた。しかし、色素非塗布群のエナメル質に照射した場合の測定温度は約100°Cと高温を示したが、照射した部位のエナメル質の形態変化は観察されなかった。一方、露出させた象牙質面においては、色素非塗布群においても形態変化が観察された。わずかな着色、白濁、亀裂のある歯にレーザー照射を行うと、エナメル質表面が溶解しているのが認められた。著者が目標とする初期う蝕治療においては、着色、亀裂等のある歯に対しレーザー照射する必要性がある。このため、歯に確実に均一な照射効果を期待する場合には、黒

色素塗布を行った方が有効であると思われた。

一方、髓腔内温度変化の検索に用いたアルメル・クロメル熱電対は、歯を透過したレーザーにより、熱電対表面そのものの温度上昇が生じその温度が計測されるといわれている¹³。この現象を防止するために、レーザー光を反射する物質として金のコーティングが薦められている¹⁴。特にNd:YAGレーザーについては、金でコートした素子がレーザーの影響を受けない放射温度計に最も近似した温度指示値を示すとしており¹³、今回は素子先端に金蒸着し、実験を行った。しかし皮膚は薄くはがれやすいため、透過したレーザー光による影響はあまり抑制されていないと思われた。特に色素非塗布群のレーザー照射歯では、実値よりも高い温度として測定された可能性がある。色素非塗布群の歯の歯冠部では、12J/Pで約100°Cを示したのに対し、墨汁、油性黒色インク塗布では約40°C、50°Cと低い値を示した。この結果は黒色素塗布面で、レーザー光のエネルギーが、エナメル質の表面組織変化を通じて、熱に変換され消費されたために、歯髓腔内温度の上昇が抑制されたものと考えられる。また、木村¹⁵は、犬を用いたCO₂レーザー照射による歯髄傷害を及ぼす臨界温度は、44°Cから51°Cであると報告している。さらに、Lisanti & Zender¹⁶も、52°Cで犬の歯髄の病理組織変化が生じたと報告している。今回の実験に用いた出力は、歯に対してはかなり大きなものであるが、色素塗布群の歯冠部は3J/P照射では、35°C以下に温度上昇は抑制されており、最高温度からの下降速度も早く、数値的に歯髄障害を

生じないと考える。しかし、レーザー光線の影響は熱エネルギーのみでなく¹⁷⁾、色素によって必ずしもすべてのエネルギーが消費されるとは考えられない。

さらに、塗布材の種類の違いによる温度変化の差についての鈴木ら¹⁸⁾の研究結果によると、塗布材の厚みが薄い油性黒色インクを用いると、ノーマルパルスでは歯面に熱伝導がしやすく、比較的高い耐酸性が得られるとしている。今回の実験で、墨汁が、油性黒色インクよりも低い測定温度を示したことは、塗布材の性質によるものか、照射面から熱電対までの歯質の厚みの違いによるものかは、照射出力が大きいこともあり、ここでは明確にされなかった。

つぎに、黒色素を塗布した場合の照射時に温度上昇の第1のピークが生じ、その後、照射より7から8秒後に温度の再上昇が生じている。第1のピークは、レーザーの直接的影響によるものと考えられ、第2のピークは照射部から歯質により伝導された温度と考えられ、歯髄組織に対する温度の影響を知る手がかりになると思われる。今回の実験では、そのすべてが第2の温度上昇は第1のピーク値よりも低く測定された。

こうした温度変化が歯髄にどのような影響を与えているかについては今後動物実験等により明らかにしたいと考えている。また歯の耐酸性付与効果のある最低照射出力等の条件についても現在検討中である。

結 論

パルス発振 Nd : YAG レーザー照射によるヒト抜去下顎前歯の表面形態および髓腔内温度変化を検索し、以下の結論を得た。

- (1) 色素非塗布群では、3, 6, 12J/P 照射においてエナメル質の形態変化は生じなかった。
- (2) 黒色素塗布群では、3, 6, 12J/P 照射においてエナメル質と象牙質面に類円形の形態変化が生じた。
- (3) 照射強度の増加にともない、形態変化の範囲が増加し、表面は粗造化した。
- (4) 色素非塗布群では、髓腔内温度は最高で約100℃となり、黒色素塗布群はその約1/2以下に抑制された。
- (5) 色素塗布群の歯牙では、照射後約7から8秒

後に第2の温度上昇が認められた。

謝 辞

稿を終わるに臨み、電子顕微鏡写真の撮影にご協力頂いた松本歯科大学電子顕微鏡室の赤羽章司主任に心から感謝いたします。また、抜去歯をご提供頂いた先生方に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) Maiman, T. H. (1960) Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187 : 493-494.
- 2) Stern, R. H. (1964) Laser beam on dental hard tissues. *J. Dent. Res.* 43 : 873.
- 3) 吉田憲司 (1987) 口腔外科領域における Nd : YAG レーザーの臨床応用. *日口外誌*, 33 : 315-324.
- 4) 海老原新 (1989) Nd : YAG レーザーの生活断髄法に関する実験的研究. *日歯保誌*, 32, 1670-1684.
- 5) 山田恵子 (1985) 小児歯科領域におけるレーザーによるう蝕予防に関する研究. *小児歯誌*, 23 : 575-591.
- 6) 松本光吉, 中村幸生, 若林 始, 有馬真理, 山田幸生, 菊池 薫 (1990) ArF Eximer LASER による窩洞形成に関する形態学的研究. *日歯保誌*, 33 : 1139-1142.
- 7) 松本光吉, 船井博雄, 白須賀哲也, 若林 始 (1985) Nd : YAG Laser による歯頸部象牙質知覚過敏症の除痛効果について. *日歯保誌*, 28 : 760-765.
- 8) 清水良一 (1984) 低出力レーザーによる口腔顔面部の炎症性病巣の治療効果. *日本歯科評論*, 502 : 236-242.
- 9) 西山俊夫 (1985) ソフトレーザーの歯科的応用と問題点. *日歯医会誌*, 38 : 693-699.
- 10) 森岡俊夫 (1984) Nd : YAG レーザー照射によるエナメル質耐酸性増強効果に及ぼす歯面黒色塗布剤の効果. *口腔衛生会誌*, 34 : 123.
- 11) 長沢明範, 西川宏司, 平柄善章 (1980) 歯牙の光学特性と各種レーザーの歯牙への作用の相違. *医用電子と生体工学*, 18 : 178-179.
- 12) 森岡俊夫 (1987) 歯学領域におけるレーザーの応用. *レーザー歯学*, 77-98. 医歯薬出版, 東京.
- 13) 長沢明範 (1988) レーザーの組織作用特性と口腔領域への応用. *歯科ジャーナル*, 27 : 159-180.
- 14) 長沢明範, 加藤 一, 西川宏司 (1982) 熱電対プローブを改良したレーザー照射組織の真温度計測. *日本レーザー医学会誌*, 3 : 195-200.
- 15) 木村一則 (1985) 口腔外科領域における CO₂ laser の応用に関する実験的研究. *日口外誌*, 31 : 2737-2752.
- 16) Lisanti, V. F. and Zender, H. A. (1952) Thermal

- injury to normal dog teeth : In vivo mesurments of pulp temperature increases and their effect on the pulp tissues. J. Dent. Res. **31** : 548—557.
- 17) 中村幸生 (1987) 連続波 Nd : YAG レーザー照射によるラット歯髓の病理組織学的変化. 口病誌, **54** : 705—721.
- 18) 鈴木和雄, 森田恵美子, 森岡俊夫(1982)各種レーザー照射によるエナメル質耐酸性向上に関する研究 (第2報) 計算によるエナメル質温度上昇と耐酸性との相関. 日本レーザー医学会誌, **3** : 613—618.