オトガイ部における Nd:YAG レーザー照射による ヒト歯髄血流量および歯髄温度感覚閾値への影響

斉 藤 ま り¹⁾ 山 口 博 康²⁾ 小 林 一 行³⁾
鎗 木 由 佳¹⁾ 黒 瀬 慎 太 郎¹⁾ 渡 邊 保 澄²⁾
河 井 智 美¹⁾ 八 島 章 博¹⁾ 白 川 哲¹⁾
長 野 孝 俊¹⁾ 五 味 一 博¹⁾

¹⁾ 鶴見大学歯学部歯周病学講座

²⁾ 鶴見大学歯学部附属病院総合歯科 2

³⁾ 鶴見大学短期大学部歯科衛生科

(受付 : 2014 年 8 月 29 日, 受理 : 2014 年 11 月 21 日)

Effect of Nd:YAG Laser Irradiation to Mental Area on Human Dental Pulp Blood Flow Rate and Pulp Temperature Sensitivity Threshold Level

Mari SAITO¹⁾, Hiroyasu YAMAGUCHI²⁾, Kazuyuki KOBAYASHI³⁾,
Yuka KABURAKI¹⁾, Shintaro KUROSE¹⁾, Hozumi WATANABE²⁾,
Tomomi KAWAI¹⁾, Akihiro YASHIMA¹⁾, Satoshi SHIRAKAWA¹⁾,
Takatoshi NAGANO¹⁾ and Kazuhiro GOMI¹⁾

¹⁾ Department of Periodontology, School of Dental Medicine, Tsurumi University

²⁾ General Dentistry and Clinical Education, School of Dental Medicine, Tsurumi University

³⁾ Department of Dental Hygiene, Tsurumi Junior College

(Received: August 29, 2014, Accepted for Publication: November 21, 2014)

Abstract: We have reported pain relieving effects and blood flow changes in dental pulp by laser irradiation. The aim of this study was to investigate the threshold of thermal sensation and blood flow in dental pulp by low-power Nd:YAG laser irradiation to the mental foramen.

Materials and Methods: Medical staff of Tsurumi University School of Dental Medicine with normal right lower canines received low-power Nd:YAG laser irradiation on the left mental foramen. Blood flow and the threshold of thermal sensation at the right lower canine were measured and compared with those at rest.

Results: Nd:YAG laser irradiation to the left mental foramen elevated blood flow in the dental pulp below the right lower canine ($p < 0.05$). After irradiation, the blood flow decreased rapidly and became equal to that at rest. The threshold of thermal sensation was also elevated by laser irradiation ($p < 0.05$).

Discussion: Nd:YAG laser irradiation on the mental foramen resulted in increases of blood flow in the dental pulp and the threshold of thermal sensation, suggesting that it may be effective, for example, for relieving pain by suppressing the sympathetic nerve.

(J. Jpn. Soc. Laser Dent. 25 : 140 ~ 147, 2014 Reprint requests to Dr. SAITO)

Key words = Nd:YAG laser, Dental pulp, Pulp blood flow, Pulp temperature sensitivity threshold level

キーワード = Nd:YAG レーザー, 歯髄, 歯髄血流量, 歯髄温度感覚閾値

緒 言

レーザーによる治療は多くの医学分野に導入され、眼科、皮膚科、脳神経外科、口腔外科などで活用されている。一方、1973 年に Plog¹⁾ は鍼療法の代用として He-Ne レーザーを東洋医学の経絡である経穴へ照射することを提言し、その有効性を示した。経穴へのレーザー照射は鍼を用いないため感染の危険性が少なく、侵襲性が低いと考えられる。また、市村ら²⁾は口腔領域に関連する遠隔経穴である手の陽明大腸経の合谷（合谷）に炭酸ガスレーザーを照射し、鍼療法と同様の効果と迎香周囲の温度上昇効果が得られることを報告した。さらに、Sato ら³⁾は Nd:YAG レーザーを合谷に照射したところ、口唇周囲の血流量が増加することを報告した。これらの報告より、経穴へのレーザー照射が生体に様々な効果をもたらすことは明らかである。

我々は組織透過型レーザーである Nd:YAG レーザーや半導体レーザーを様々な痛みを伴う疾患や処置に応用してきた。その結果、表面麻酔への応用⁴⁾、口内炎⁵⁾、象牙質知覚過敏症^{6,7)}、歯周外科処置後^{8,9)}、クランプ装着時¹⁰⁾などの疼痛緩和に有効であった。さらに疼痛緩和効果の作用機序解明のため、Nd:YAG レーザーによる歯髄血流量変化の検討を行ったところ、レーザー照射により血流量の上昇が認められたが全身の循環動態には影響を及ぼさないことを報告した¹¹⁾。また、経穴である左側迎香への Nd:YAG レーザー照射により、反対側犬歯の歯髄血流量が増加することについても報告した。

そこで本研究では、Nd:YAG レーザーのオトガイ部への照射が反対側の下顎犬歯歯髄血流量および歯髄温度感覚閾値に及ぼす影響について検討した。

対象と方法

<使用レーザー照射装置ならびに照射条件>

Nd:YAG レーザー (Nd コンパクト[®], デニックス, 東京) (図 1A) を使用し、100mJ, 15pps, 対象歯の歯頸部、歯肉または皮膚から 1 cm の位置より非接触で 30 秒間スウィーピングモーションにて照射した。

<レーザー照射部位>

実験 1. 左側オトガイ孔相当部皮膚 (オトガイ部皮膚)、オトガイ孔相当部歯肉 (オトガイ部歯肉)

実験 2. 左側オトガイ孔相当部歯肉 (オトガイ部歯肉)

<測定機器>

実験 1. レーザードップラー血流計 (ALF21[®], 株式会社アドバンス, 東京) (図 2A)

実験 2. 温度閾値測定装置 (痛覚計 UDH-104[®], ユニークメディカル, 東京) (図 3A)

<測定部位>

下顎右側犬歯歯頸部

図 1 使用レーザー

A: Nd:YAG レーザー (Nd コンパクト[®], デニックス, 東京)
B: 測定機器への干渉を防止するため鉛箔を被覆したファイバー先端

<手順>

【実験 1. オトガイ部への Nd:YAG レーザー照射による歯髄血流量の変化】

対象者 11 名 (うち男性 6 名, 女性 5 名, 平均年齢 29.3 歳) の下顎右側犬歯を対象歯として、鶴見大学歯学部倫理規定に基づき実験を行った (承認番号 821)。

レーザー照射装置として Nd:YAG レーザーを使用し (図 1A), レーザーのファイバー先端は鉛箔で被覆した (図 1B)。

下顎右側犬歯の歯頸部中央歯肉より歯冠部方向に 1 mm の位置を低粘性レジン (ビューティフィルフロー, 松風, 京都) で印記し、ヘビーボディーシリコーン印象材 (エグザファイン, GC, 東京) と印象用トレーで印象採得を行った。印象材でレーザードップラー血流計のプロブを印記部のエナメル質に接触するように固定した後 (図 2B), デンタルチェアを水平位にし、安静状態で歯髄血流量を測定した。これを安静時歯髄血流量とした。

対象歯の反対側である左側オトガイ孔相当部皮膚 (オトガイ部皮膚) にレーザーを照射条件に沿って照射し (図 2C), 照射中の歯髄血流量を 5 秒, 10 秒, 15 秒, 20 秒, 25 秒, 30 秒で計測した。レーザー照射終了後も引き続き 30 秒間歯髄血流量を 5 秒, 10 秒, 15 秒, 20 秒, 25 秒, 30 秒で計測した。

加えて、対象歯の反対側である左側オトガイ孔相当部歯肉 (オトガイ部歯肉) にレーザーを同条件で照射し (図 2D), 照射中の血流量を同様に測定した。レーザー照射後も同条件で引き続き 30 秒間血流量の測定を行った。

【実験 2. オトガイ部歯肉への Nd:YAG レーザー照射による歯髄温度感覚閾値の変化】

対象者 12 名 (うち男性 6 名, 女性 6 名, 平均年齢 28.0

図 2 レーザードップラー血流計を用いた歯髄血流量の測定
 A: レーザードップラー血流計 (ALF21®, 株式会社アドバンス, 東京)
 B: 下顎右側犬歯に血流計のプロープを装着した様子
 C: 左側オトガイ部皮膚へのレーザー照射
 D: 左側オトガイ部歯肉へのレーザー照射

歳)の下顎右側犬歯を対象歯として、鶴見大学歯学部倫理規定に基づき実験を行った(承認番号 821)。レーザー照射装置は上記と同様に Nd:YAG レーザーを使用し、レーザーのファイバー先端は鉛箔で被覆した。

下顎右側犬歯歯頸部に温度閾値測定装置(図 3A)のプロープを当て(図 3B)、レーザー照射前に歯髄温度感覚閾値を測定し、照射前の歯髄温度感覚閾値とした(図 3C)。その後、左側オトガイ孔相当部歯肉(オトガイ部歯肉)にレーザー照射し、30 秒のインターバルを設け、再度上記と同条件で左側オトガイ部歯肉にレーザーを照射し、照射後すぐに照射前と同条件で歯髄温度感覚閾値の測定を行った。

<統計処理>

左側オトガイ部皮膚におけるレーザー照射前後の歯髄血流量および左側オトガイ部歯肉におけるレーザー照射前後の歯髄血流量は Wilcoxon signed-rank test を用いて統計処理を行った。また、オトガイ部皮膚とオトガイ部歯肉のレーザー照射時歯髄血流量の部位間における比較は Mann-Whitney *U* test を用いて統計処理を行った。

レーザー照射前後の歯髄温度感覚閾値の変化は、実験群全体および性別における有意差について Wilcoxon signed-rank test を用いて統計処理を行った。

それぞれの実験については、図 4 にフローチャートを示した。

図 3 温度閾値測定装置を用いた歯髄温度感覚閾値の測定
 A: 温度閾値測定装置 (痛覚計 UDH-104®, ユニークメディカル, 東京)
 B: Heat probe を下顎犬歯歯頸部に当てる
 C: 痛覚計による歯髄温度感覚閾値測定 (温度上昇を感知したら対象者がボタンを押す)

結 果

【実験 1. 左側オトガイ部への Nd:YAG レーザー照射による歯髄血流量の変化】

下顎右側犬歯歯髄血流量は、安静時と比較して左側オトガイ部皮膚へのレーザー照射により有意に上昇した

図 4 実験のフローチャート

図 5 左側オトガイ部皮膚への Nd:YAG レーザー照射による右側犬歯歯髄血流量の変化

図 6 左側オトガイ部歯肉への Nd:YAG レーザー照射による右側犬歯歯髄血流量の変化

(図 5, *: $p < 0.05$)。また、レーザー照射終了後、歯髄血流量はただちに減少し、照射終了後は安静時と同等の値を示した。

左側オトガイ部歯肉へのレーザー照射時は、下顎右側犬歯歯髄血流量は安静時歯髄血流量と比較して、照射時は有意に上昇し (図 6, *: $p < 0.05$)、照射終了後に歯髄血流量はただちに減少し、照射終了後は安静時と同等の値を示した。

また、オトガイ部皮膚へのレーザー照射時の歯髄血流量と比較して、オトガイ部歯肉へのレーザー照射時の歯髄血

流量は有意に高い値を示した (*: $p < 0.05$)。

【実験 2. 左側オトガイ部への Nd:YAG レーザー照射による歯髄温度感覚閾値の変化】

左側オトガイ部歯肉へのレーザー照射により、下顎右側犬歯の歯髄温度感覚閾値は安静時と比較して有意に上昇した (図 7, *: $p < 0.05$)。また、男女別の結果でも、いずれも照射後有意に上昇が認められた ($p < 0.05$) が、レーザー照射前後の男女間の値に有意差は認められなかった (図 8, $p > 0.05$)。

図7 左側オトガイ部歯肉へのNd:YAGレーザー照射による右側犬歯歯髄温度感覚閾値の変化

図8 左側オトガイ部歯肉へのNd:YAGレーザー照射による右側犬歯歯髄温度感覚閾値の変化(性別)

考 察

現在までに我々は、レーザー照射側と反対側の歯髄血流量の変化¹²⁾や、レーザー照射による歯髄温度感覚閾値の変化⁷⁾などが生じることについて報告を行ってきた。また、鍼灸分野において患側と反対側への鍼刺激が有用な場合が示されていることから、本研究においては、オトガイ神経部へのレーザー照射が照射部位の反対側の犬歯歯髄血流量および歯髄温度感覚閾値に及ぼす影響を調べるため検討を行った。

1. Nd:YAGレーザーによる歯髄血流量、歯髄温度感覚閾値への効果

本実験では、オトガイ部に対しNd:YAGレーザーを組織変性の生じない低出力で照射した。組織透過型であるNd:YAGレーザーは高出力レーザーに分類され、歯科臨床において使用されている。出力をコントロールしてLow level laser therapy (LLLT)として応用することで、歯髄温度感覚閾値を高め、麻酔効果を得られるという報告がされている¹³⁻¹⁵⁾。また、象牙質知覚過敏症に対し疼痛緩和効果をもつこと^{6, 7, 16, 17)}から、Nd:YAGレーザーの低出力照射が痛覚に影響を及ぼしていることを強く示唆している。

過去において、我々は迎香へのNd:YAGレーザー照射による歯髄血流量上昇を報告しており¹²⁾、低出力でのNd:YAGレーザー照射は鍼治療に近い効果を持つ。鍼治療を神経損傷に対して行う場合、神経因性疼痛に有効であることが明らかにされており¹⁸⁾、神経への鍼刺激が筋肉などへの鍼刺激より効果的であったとの報告もある¹⁹⁾。これらの機序には血流の改善が関与すると考えられ²⁰⁾、神経

への栄養血管の血流が改善されることで損傷した神経の修復が期待される。

また、レーザー鍼治療のなかでも、星状神経節にレーザー照射を行うと交感神経が抑制されることから、支配領域の末梢循環障害が改善され、血管拡張作用により痛みが緩和されることが明らかとなっている^{21, 22)}。星状神経節は頭頸部・胸部領域の交感神経節であり、神経ブロックが行われやすいことが知られている。レーザー照射が終了するとただちに血流量は安静時と同等に戻るから¹¹⁾、神経ブロックの効果と同様に可逆的な作用であるといえる。この作用については歯髄血流調節機構²³⁾により歯髄組織圧が保たれていると考えられ、本研究においても同様の結果が得られたことから、過去の報告と同様の機構により歯髄血流量へ影響を及ぼしていると考えられる。

局所的な歯髄血流量の調節にも神経が関与することは明らかになっており、歯髄神経線維は求心神経の微量な刺激に反応し、歯髄血管の拡張が生じることが報告されている²⁴⁾。さらに、歯髄根尖側半部に動静脈吻合が存在し、血流調節に影響を及ぼしていると考えられる²³⁾。血管への低出力のレーザー照射は血管周囲組織に影響し、血管平滑筋の収縮亢進²⁵⁾や血液循環の改善をもたらす。また、発痛部位にレーザーを照射すると、交感神経の緊張緩和から²⁶⁾血管循環が改善される²⁷⁾。これは組織透過型レーザーであるNd:YAGレーザーの光エネルギーや熱作用が広範囲に波及し、血管周囲組織や神経へ作用するものと示唆される。

レーザーの低出力照射による生体組織への作用および効果は様々なものがある。レーザーの光エネルギーによって生体反応が促進され、細胞分裂、細胞膜カルシウムイオン

輸送の促進, ATP 産生能の亢進, 生体膜の安定化が起こる。生体膜安定効果は末梢における神経系の発火を抑制し²⁸⁾, 末梢神経の伝導速度を抑制する²⁹⁾。それらには神経系の C 線維が関与するとしての報告がある³⁰⁾。感覚神経のなかで痛みを伝える C 線維は無髄であり, 交感神経活動や鈍痛を伝える役割を持つ。C 線維には, 近年カプサイシンレセプターとして発見されたパニロイド受容体のうち, Transient receptor potential cation channel subfamily V member 1 (TRPV1) が特異的に発現している^{31, 32)}。TRPV1 は 43 度以上の熱などの侵害刺激に対して特異的に反応し, 感覚閾値に関与している。以前, 我々は半導体レーザー照射により歯髄温度感覚閾値が上昇するという報告を行い, Nd:YAG レーザーと同様の組織透過型である半導体レーザー照射が C 線維に影響を及ぼしたと考察した¹⁶⁾。また, 半導体レーザーは C 線維を特異的に抑制するという報告²¹⁾, 下顎切歯歯頸部へのレーザー照射により C 線維の興奮が抑制されるという報告³³⁾, 半導体レーザー照射によりラット伏在神経の A δ , C 線維の活動が抑制される³⁴⁾, 低出力レーザーをネコ舌神経に照射すると痛覚に関する神経線維の興奮が抑制される³⁵⁾ という報告もあることから, 本実験における歯髄温度感覚閾値の上昇は Nd:YAG レーザー照射により C 線維が抑制され, 熱刺激に対して反応する受容体の TRPV1 もともに抑制された結果生じたと示唆される。レーザーによる疼痛緩和はこれまでも研究を行ってきたが⁴⁻¹⁰⁾, 疼痛緩和は歯髄温度感覚閾値の上昇, 消炎作用, 血流の改善, 免疫機能の賦活化作用などにより起こり, 本実験においてもこれらの機序により疼痛緩和効果をもたらすと考えられる。また, 低出力レーザー照射のエネルギーが末梢側の動静脈血管吻合に伝わり, 神経活動電位の抑制を生じる可能性が考えられる。

我々は過去に歯髄温度感覚閾値の上昇および下降について報告しており^{7, 36)}, さらに基礎的なデータとして, 関根ら³⁷⁾ はアフリカツメガエルの触覚神経へのレーザー照射により神経線維の可逆的な活動電位の伝導抑制が生じると報告している。よって, 歯髄温度感覚閾値の上昇および下降はプラシーボ効果ではなく実際に生じていると考えられるが, 歯髄温度感覚閾値の測定は対象者の感覚に頼る判断であるため今後さらに検討が必要と推察される。また, 一般的に女性の方が痛みに対して耐性をもつといわれる傾向にあり, 以前の報告において男性・女性でレーザー照射により有意差があることを報告したが⁷⁾, 今回の歯髄温度感覚閾値の結果では特に性別における有意差はみられなかった。歯髄温度感覚閾値の測定において visual analog scale 等を用いていないことから, やや比較が困難なことが考えられ, 今後さらに検討を行う予定である。

2. レーザー照射反対側への影響について

生体へのレーザー照射が照射と同側の組織に及ぼす影響

について, 我々はこれまでに複数の報告を行っており, 特に疼痛緩和効果が強く示唆される^{4, 6, 7, 10)}。

鍼灸領域において経穴に対する刺激が反対側にまで影響を及ぼすことは巨刺^{こし}などをはじめ複数報告されている³⁸⁻⁴¹⁾。巨刺とは針法の一つであり, 患側の反対側に刺鍼することで痛みを軽減する方法である。口腔に関連する経穴である迎香に対して Nd:YAG レーザー照射を行ったところ, 照射反対側の犬歯の歯髄血流量が上昇し¹²⁾, レーザー照射が照射と反対側の組織へも影響を及ぼすことを報告した。レーザー照射により照射反対側の歯髄温度感覚閾値が上昇することは何らかの神経中枢を介した機序に関与し, レーザー照射によって鍼刺激に類似した効果が表れているものと考えられる。また, レーザー照射は組織の炎症を抑える効果をもたらす。炎症時に産生されたプロスタグランジンなどの炎症メディエーターによりポリモーダル受容器が反応する。幅広い刺激を受容するポリモーダル受容器は C 線維に特異的に発現しており, TRPV1 などの熱刺激に特異的に作用する受容体が存在する。C 線維を抑制することにより歯髄温度感覚閾値が上昇すると考えられる。我々は Nd:YAG レーザー照射による疼痛緩和効果はプロスタグランジンの産生を抑制することにより起こる可能性がある¹⁰⁾と報告しており¹⁰⁾, 前述する C 線維への作用などの複数の因子が影響していると考えられる。

本実験におけるオトガイ部への Nd:YAG レーザー低出力照射による反対側犬歯の歯髄血流量増加は, 神経中枢を介した機序や軸索反射によって逆伝導性血管拡張が誘発されたことから生じたと考えられる。これに関わる神経は C 線維であり⁴²⁾, 歯髄の 80% は C 線維で占められていることからこの考えを支持していると考えられる。

3. 歯髄血流量と歯髄温度感覚閾値の上昇および疼痛閾値の関連について

歯髄への Nd:YAG レーザー照射により, 歯髄血流量および歯髄温度感覚閾値は上昇する。歯髄血流量の上昇により歯髄内の温度上昇が抑制され, さらにレーザー照射により歯髄組織内の神経 C 線維が抑制され歯髄温度感覚閾値が上昇したと考えられる。

本研究で使用した温度感覚閾値測定装置は, 生理学的疼痛の一種である温度上昇による刺激の計測によって痛覚閾値の上昇を評価している。疼痛を含めた侵害刺激のうち, 二次疼痛には先述した C 線維のポリモーダル受容器が反応する。ポリモーダル受容器は 43℃ 以上の熱刺激に反応し, 温度刺激は中枢に伝達され熱刺激と認識されるが, 40℃ 以上の高温による刺激は痛覚として認識される。そのため, 温度感覚閾値の上昇に伴い疼痛閾値も上昇し, 疼痛緩和効果が得られる。

以上の結果よりオトガイ部への Nd:YAG レーザーの低出力照射は支配領域の交感神経系を抑制させるため歯

髓血流量が上昇し、また神経系のうちC線維を抑制することから歯髄温度感覚閾値の上昇がみられると示唆される。

4. 本研究の臨床的意義

レーザー照射により歯髄血流が改善し、浸潤麻酔後や矯正治療、外傷などで減少した血流をコントロールすることが可能であると報告されている¹²⁾。レーザー照射は感染のリスクや副作用の危険性も少なく、安全性の高い治療法である。また、我々は臨床において浸潤麻酔等の侵襲による負担が大きい有病者などの症例に対しレーザー照射を行うことで麻酔効果が得られ、切削による疼痛を回避することが可能であると報告した⁴³⁾。このような効果により、有病者や高齢者のうち麻酔が使用できない患者の失活抜髄、歯髄虚血を生じた外傷歯や矯正後の歯髄血流量上昇による疼痛緩和やネクロシスの防止、浸潤麻酔後の感覚の覚醒促進など幅広く応用できる可能性がある。今後さらに末梢神経支配領域や経穴へのレーザー照射による疼痛緩和・血流へ及ぼす影響について研究を継続する予定である。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、ご助言いただきました鶴見大学歯学部附属病院総合歯科2臨床教授である別部智司博士に深謝致します。

本研究の一部は第22回日本レーザー歯学会総会・学術大会(2010年11月、愛知)、第23回日本レーザー歯学会総会・学術大会(2011年12月、大阪)で発表した。

文 献

- 1) Plog FMW: Biophysical application of the laser beam. In: Koebner HK, ed. Lasers in Medicine. New York, 1980, Wiley.
- 2) 市村 葉, 横瀬敏志, 柿坪秀具, 他: CO₂ レーザーの鍼療法への応用. 日レ歯誌, 15: 73-77, 2004.
- 3) Sato Y, Yamaguchi H, Kobayashi K, et al: Changes in the oral mucosa blood flow after Nd:YAG laser irradiation on acupuncture point. Proceeding of the 6TH international Congress on lasers in dentistry, Utah, 247-248, 1998.
- 4) 山口博康, 小林一行, 佐藤恭道, 他: Nd:YAG レーザーの表面麻酔効果. 日レ歯誌, 9: 9-12, 1998.
- 5) 山口博康: レーザーはここまで来た! Practice & Evidence 5 高出力レーザーを用いた疼痛緩和処置. 歯科展望, 117: 6, 2011.
- 6) 小林一行, 山口博康, 熊井麻子, 他: 歯周治療中に生じた象牙質知覚過敏症に対する Nd:YAG レーザー照射による疼痛緩和効果. 日歯周誌, 41: 180-187, 1999.
- 7) 大塚実千代, 矢作保澄, 山口博康, 他: 半導体レーザー照射の歯髄温度感覚閾値への影響と象牙質知覚過敏症への効果. 日レ歯誌, 21: 89-94, 2010.
- 8) 松井康太郎, 湯浅茂平, 加茂公隆, 他: 歯周および歯内外科治療後の Nd:YAG レーザー照射に伴う術後疼痛緩和効果. 日歯保存誌, 48: 372-278, 2005.
- 9) 松井康太郎, 湯浅茂平, 吉田拓正, 他: フラップ手術での Nd:YAG レーザー照射に伴う術後疼痛緩和効果. 日歯周誌, 48: 106-112, 2006.
- 10) 関根章子, 柳沢 隆, 浅沼 厚: Nd:YAG レーザー照射によるクランプ装着時の疼痛緩和効果. 日レ歯誌, 14: 126-130, 2003.
- 11) Yamaguchi H, Kobayashi K, Sato Y, et al: Nd:YAG laser irradiation of human dental pulp: Implication as predictor of pulp hemodynamics. Laser Surg Med, 26: 270-276, 2000.
- 12) 山口博康, 市原雅樹, 小林一行, 他: 迎香への Nd: YAG レーザー照射によるヒト歯髄血流量の影響. 日レ歯誌, 19: 125-129, 2008.
- 13) Parkins F, Miller R: Nd: YAG laser analgesia of dentin. J Dent Res, 71: 162 (abstract 450), 1992.
- 14) Whitters CJ, Hall A, Creanor SL, et al: A clinical study of pulsed Nd:YAG laser-induced pulpal analgesia. J Dent, 23: 145-150, 1995.
- 15) 内藤 徹, 秋吉栄太郎, 横田 誠: 局所麻酔剤アレルギーが疑われる症例に対する Nd: YAG レーザー照射の応用. 日歯保存誌, 40: 793-799, 1997.
- 16) 松本光吉, 船井博雄, 白須賀哲也, 他: 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. 日歯保存誌, 28: 760-765, 1985.
- 17) 河田克之, 大塚秀春, 市村 光, 他: 歯周疾患を伴う象牙質知覚過敏症に対する Nd: YAG レーザーの治療効果. 日歯保存誌, 39: 989-995, 1996.
- 18) 井上基浩, 北條達也, 片山憲史, 他: 根性坐骨神経痛に対する神経根鍼通電療法の開発とその有効性. 明治鍼灸医学, 30: 1-8, 2002.
- 19) 坂井友実, 安野富美子, 田和宗徳, 他: 低周波鍼通電療法の臨床的研究—筋刺激(筋パルス)と神経刺激(神経パルス)の検討—. 日温気温物医誌, 67: 87-108, 2004.
- 20) 飯島一彦, 山下直人, 下山恵美, 他: レーザー治療による疼痛緩和のメカニズム. ペインクリニック, 15: 827-832, 1994.
- 21) 河谷正仁, 土屋喜由: 低出力レーザーによる末梢感覚神経伝導の遮断. ペインクリニック, 16: 584-593, 1988.
- 22) 吉沢明孝, 清水純一: 低出力レーザーによる星状神経節近傍への照射効果について. 日レ医誌, 13: 5-7, 1992.
- 23) Vogsavan N and Matthews B: Changes in pulpal blood flow and in fluid flow through dentin produced by autonomic and sensory nerve stimulation in cat. Finn Dent Soc, 68 (Suppl): 491-497, 1992.
- 24) Petersson K, Söderström C, Kiani-Anaraki M: Nd:YAG laser irradiation of human dental pulp: Implication as predictor of pulp hemodynamics. Laser Surg Med, 26: 270-276, 2000.
- 25) 広岡哲夫: レーザーの生体に及ぼす影響. 鍼灸 OSAKA, 9: 17-23, 1993.
- 26) 剣持 修: 図説半導体レーザーと痛みの治療. 1992, メジカルビュー社, 8-9.
- 27) 森 和, 渡辺一平, 兵頭正義, 他: 鍼灸治療手段の客観化に関する研究 スタービームとレーザー鍼の比較. 東方医学雑誌, 9: 1-13, 1993.
- 28) 飯島一彦, 山下直人, 山本達郎, 他: 痛みに対するレーザー治療の効果 疼痛外来における低出力レーザー療法. 骨, 関節, 靱帯, 7: 669-675, 1994.
- 29) Mackler LS, Bark CE: Effect of heliumneon laser irradiation on peripheral sensory nerve latency. Phys Ther, 68: 223-225, 1988.
- 30) Tsuchiya K, Kawatani M, Takeshige C, et al: Laser irradiation of rat paw skin: bates neural responses to nociceptive stimulation of rat paw skin. Brain Res Bull, 34: 369-374, 1994.
- 31) Caterina MJ, Schumacher MA, Julius D, et al: The capsaicin receptor: a heat-activated ion channel in the pathway. Nature, 389: 816-824, 1997.
- 32) Makoto T, Michael JC, David J, et al: The Cloned Capsaicin Receptor integrates Multiple Pain-Producing Stimuli. Neuron, 21-23: 531543, 1998.
- 33) 若林 始, 半場道子, 中山哲夫, 他: 半導体レーザーによる

- 鎮痛の神経生理学的研究. 日レ歯誌, 3: 65-74, 1992.
- 34) Tsuchiya K, Kawatani M, Matsumoto L, et al: Diode laser irradiation selectively diminishes slow component of axonal volleys to dorsal roots from the saphenous nerve in the rat. *Neuroscience Letters*, 161: 65-68, 1993.
- 35) 目澤修二, 塩野 真, 角野隆二, 他: ネコ舌への電気および侵害的熱刺激に応答する舌神経活動に対する舌表面への低出力レーザー照射効果. 日歯保存誌, 31: 584-593, 1988.
- 36) Yamaguchi H, Kobayashi K, Arai T: In Vivo Evaluation of Human Pulp Sensitivity After Nd: YAG Laser Irradiation. *JOLA*, 5, Issue 2: 81-84, 2005.
- 37) 関根章子, 柳澤 隆, 浅沼 厚: Nd: YAG レーザーによる疼痛緩和効果の理想的な照射条件. 日歯保存誌, 49-3: 407-414, 2006.
- 38) Arichi S, Arichi H, Toda S: Acupuncture and Rehabilitation (I) Effect of acupuncture on normal side to snapping finger. *AJCM*, 11: 137-142, 1983.
- 39) Arichi S, Arichi H, Toda S: Acupuncture and Rehabilitation (I) Effect of acupuncture applied to the normal side on osteoarthritis deformans and rheumatoid arthritis of the knee and on disorders in motility of the knee joint after cerebral hemorrhage and thrombosis. *AJCM*, 11: 146-149, 1983.
- 40) 伊藤暖果: 低出力Nd:YAGレーザーによる皮膚温上昇機序の研究 とくに神経伝達の機序について. 日口外誌, 37: 1966-1980, 1991.
- 41) 松本 勲: 鍼灸と末梢循環について—とくに研究方法の変遷と研究結果について—. *明治鍼灸医学*, 39: 11-14, 2006.
- 42) 笹野高嗣: 歯髄血流の神経性調整機構と歯髄診断. 東北歯誌, 17: 1-21, 1998.
- 43) 山口博康, 掛川文子, 村上美穂, 他: Nd:YAG レーザーの失活抜髄への応用 (症例報告). 日レ歯誌, 18: 111-115, 2007.