

## Nd-YAG レーザーによる健全象牙質と 脱灰象牙質の削除についての研究 (2)

—酸化チタンペーストを用いた Nd-YAG レーザーによる歯質削除について—

丸山明華 松根健介 荒井清司  
渋谷功\* 山内隆弘 西山典宏\*  
前田隆秀

**要旨:** Nd-YAG レーザーは、齲蝕予防、根管治療、軟組織の切開などに歯科臨床に応用されている。また、Nd-YAG レーザーに酸化チタン懸濁液を併用することで Nd-YAG レーザー単独よりエナメル質や象牙質が効果的に削除できることを報告した。しかし、酸化チタン懸濁液は齲蝕部に停滞させることは困難であり臨床応用は難しい。本研究では、齲蝕部への停滞性が良好な酸化チタンペーストを用いて Nd-YAG レーザーを齲蝕部に照射し、容易に齲蝕部を除去できるかといった臨床応用を前提に健康象牙質と脱灰象牙質で検討した。

その結果、酸化チタンペーストを介在させた場合、コントロールであるグリセリンと比較して有意に切削量が増え、さらに酸化チタンの含有量依存的に健全歯質、脱灰象牙質ともに削除量は増加した。

臨床においては、齲蝕歯質の選択的な削除が求められる。すなわち齲蝕歯質は効果的に削除でき、健全歯質の削除は可及的に抑えることが求められる。両面を完全に満足することは難しいが、酸化チタン濃度が 10%~20% の濃度を用いることによって両面を考慮した臨床応用できると考えられた。

**Key words:** Nd-YAG レーザー、酸化チタンペースト、歯質削除

### 緒言

各種レーザーは、その優れた特性からメラニン色素の除去<sup>1,2)</sup>、歯周疾患への応用<sup>3)</sup>、軟組織切除<sup>4,5)</sup>、予防処置<sup>6)</sup>、硬組織形成能促進<sup>7)</sup>、歯の切削や歯科金属の溶接<sup>8-12)</sup>など多岐にわたり歯科領域で使用されている。なかでも、Er-YAG レーザーによる歯の切削が可能であることが注目を浴びている。Er-YAG レーザーによる歯の切削は、エアータービンや電気エンジンによる歯の切削と比較して、疼痛が少なく、振動ならびに音の軽減が切削時における患児の精神的苦痛を与えることなく治療が行えると報告されている<sup>13,14)</sup>。

しかし、Er-YAG レーザーは、切削効率が悪いため、

齲蝕除去に時間を要することが問題視されている<sup>14)</sup>。特に小児歯科領域においては、患児のチェアタイム延長は、有益でない。

一方、Nd-YAG レーザーは、齲蝕予防、根管治療、軟組織の切開などの応用にとどまり<sup>15)</sup>、歯質の削除への応用はみられない。Nd-YAG レーザーは、透過型レーザーで、黒色色素に吸収される色素選択性を有しているため、歯質削除する場合、歯面に黒色色素を塗布するなどの処理を施す必要があった<sup>16)</sup>。しかし、Nd-YAG レーザーに酸化チタン懸濁液を併用することでエナメル質や象牙質に黒色色素を塗布しなくても削除できる可能性を報告した<sup>17)</sup>。一般臨床において酸化チタン懸濁液はその液体性状から齲蝕部に停滞させることは難しいことによる操作性の問題があることも同時に報告した<sup>17)</sup>。

酸化チタンは、化学繊維、紙、塗料、印刷、インキ、化粧品等多岐にわたり用いられているだけでなく、食品添加物としても認められており<sup>18,19)</sup>、化学的に極めて安定で、アレルギー反応を起こしにくく、生体に為害作用がないことが知られている<sup>20)</sup>。さらに、酸化チタン懸濁液は、光照射により生じる光触媒反応で、様々な有機物を

日本大学松戸歯学部小児歯科学教室  
千葉県松戸市栄町西 2 丁目 870 番 1  
(主任: 前田隆秀教授)

\*日本大学松戸歯学部生体材料学教室  
千葉県松戸市栄町西 2 丁目 870 番 1  
(主任: 西山典宏教授)  
(2007 年 6 月 28 日受付)  
(2007 年 8 月 17 日受理)

分解し、殺菌効果を有することも報告されている<sup>19,20)</sup>。

本研究では、酸化チタンの臨床応用に向けて酸化チタン濃度を变化させることによる、歯質の切削状態を検討するために種々の濃度の酸化チタンペーストを作製し、健康象牙質ならびに脱灰象牙質部における歯質削除の状態をコンピューターにて計測した。

### 材料及び方法

#### 1. 酸化チタンペーストの作製

酸化チタン粉末 (ST-01, 石原産業製) とグリセリン (和光純薬製) を乳鉢で練和し作製した。試料とした酸化チタンペーストの酸化チタン粉末配合比は、重量%において10%, 20%, 30%, 40%, 50% となるよう調整した (表1)。なお、酸化チタンペーストの対照としてグリセリンを用いた。

#### 2. 試験体の作製

今回使用した歯は日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認 (EC 05-005) を得て本研究を遂行した。日本大学松戸歯学部付属病院に来院した患者から、研究の同意を得た後、智歯周囲炎により抜去された健康な第三大臼歯 (20本) を10% 中性ホルマリン溶液 (和光純薬製) 中で保存し実験に供した。歯の歯冠を歯頸部より歯冠側に向かって3mmの部位で切断し、厚さ2mmの象牙質ブロックを作製し、表面を注水下にてシリコンカーバイドペーパーで#100より#1000まで順次研磨し、健全象牙質および脱灰象牙質のブロックを各10個体作製した。人工脱灰象牙質は、10% 蟻酸 (和光純薬製) に10日間、室温 (25℃) で浸漬させた。蟻酸は24時間ごとに新しい蟻酸と交換した。

象牙質表面を探針 (ワイデムヤマウラ社製, Pタイプ歯内用) で刺入し、表面から完全に貫通した時期で終了とし、人工脱灰象牙質とした (図1)。

#### 3. レーザー照射条件

使用したレーザーはNd-YAGレーザー (CONTACT LASE® S. L. T社製) で、ファイバー径400μm (シリカ加工なし) 使用し、1秒間に5ppsで600mJの条件下で行った。ファイバー先端が象牙質表面に可及的に垂直となるように実体顕微鏡 (SZX-ZB 12 OLYMPUS製) 下で調整し、10%, 20%, 30%, 40% および50% 酸化チ

タンペーストを介在させて1ブロックにつき3箇所になんらかの1秒間照射を行った (図2, 3)。

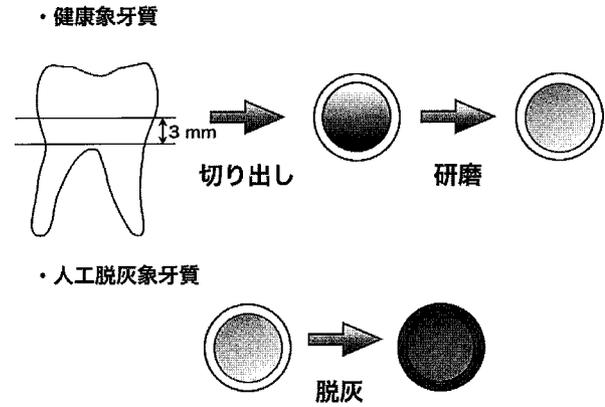


図1 試験体図

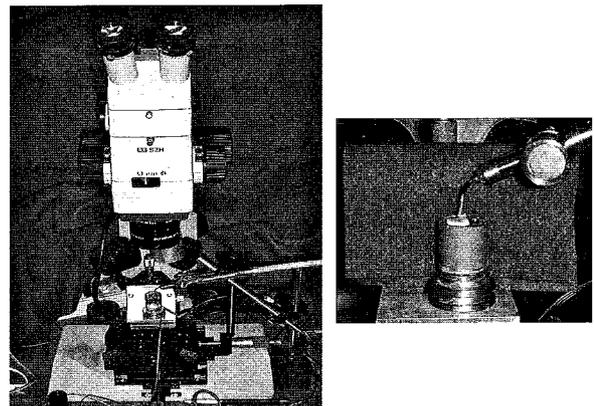


図2 レーザー照射条件

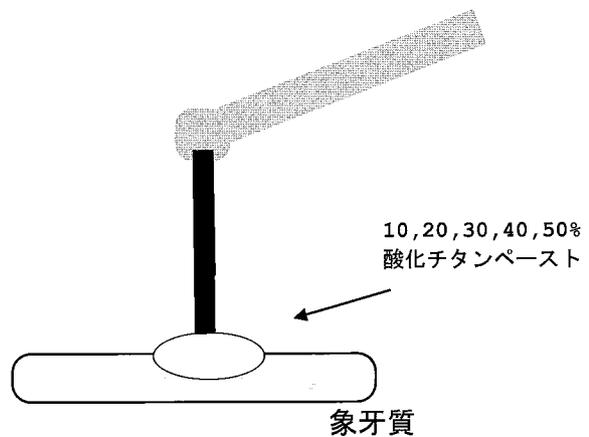


図3 レーザー照射条件

表1 酸化チタンペースト

	10%	20%	30%	40%	50%
酸化チタン粉末	0.126 g	0.252 g	0.378 g	0.504 g	0.630 g
グリセリン	1 ml				

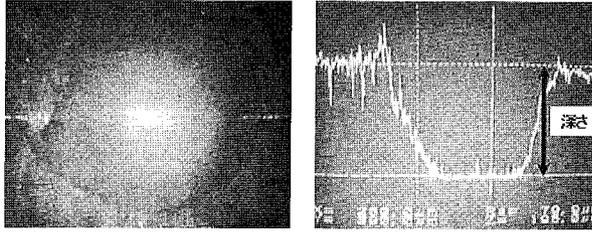


図4 レーザー照射痕と測定

4. 測定方法

健全象牙質ならびに脱灰象牙質の表面にレーザーを照射した後、PROFILE MICROMETER (VF-7510, KEYENCE 社製) にて切削量の深さを測定した。健全ならびに脱灰象牙質表面の3箇所での平均値を算出し、1試料における各々の切削深さの代表値とした(図4)。統計処理は測定値を二元配置分散分析し、さらに Tukey の多重比較検定を行った。

結 果

表2ならびに図5-1に示すようにグリセリンの介在(0%)においては、健全象牙質と脱灰象牙質の削除量には、有意差は認めないが、各濃度の酸化チタンペーストを介在させた場合は、すべての濃度において脱灰象牙質における削除量が健康象牙質より有意に多かった(p<0.01)。また、図5-2, 3に示すようにグリセリンと各濃度の酸化チタンペーストにおいて、健全象牙質、脱灰象牙質ごとの切削量に有意な差が認められた(p<0.05)。

考 察

歯科臨床におけるレーザーの応用は、歯の切削、耐酸性付与、軟組織の切開や止血など多岐にわたる<sup>15, 21)</sup>。近年では硬組織への応用、特に齲蝕予防やレジン窩洞の形成にも実用可能となってきている<sup>22, 23)</sup>。小児歯科診療においては、レーザーによる歯の削除や耐酸性付与効果の有用性が報告されている<sup>24-27)</sup>。Nd-YAG レーザーは、齲蝕予防、根管治療や歯質の削除、軟組織の切開などに応用されている<sup>28, 29)</sup>。Nd-YAG レーザーは 1,064 nm に波長

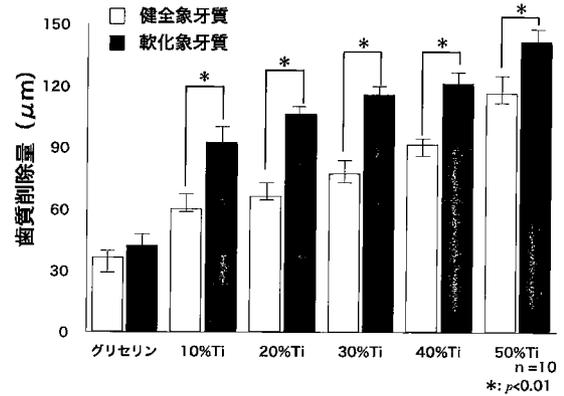


図5-1

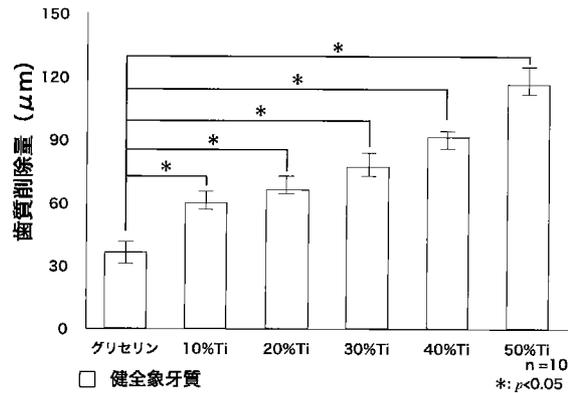


図5-2

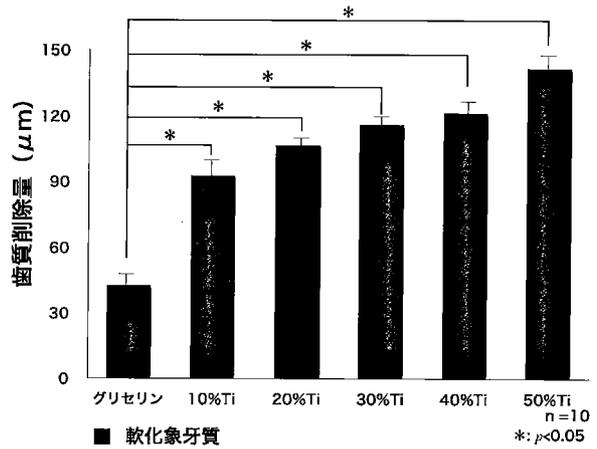


図5-3

図5 切削量グラフ

表2 酸化チタンペースト濃度と削除量

	0%	10%	20%	30%	40%	50%
健全象牙質	36.7±4.7	60.4±10.0	66.7±4.9	77.4±5.4	91.9±4.3	116.7±11.6
軟化象牙質	42.5±7.3	92.7±15.9	106.5±3.6	116.0±13.1	121.5±6.6	142.0±16.8

単位：μm

ピークを持つことから光透過性が高く、特定の色調に選択的に吸収されることが知られており<sup>30)</sup>、この性質を利用して、Nd-YAG レーザーを作用させたい部分に、黒色系着色剤などの Nd-YAG レーザー反応物質を使用することで Nd-YAG レーザーを効果的に反応させる工夫がされている。

酸化チタン懸濁液を併用すると Nd-YAG レーザーはエナメル質や象牙質を削除できることが可能となった。酸化チタン懸濁液中で Nd-YAG レーザーを照射すると、酸化チタン懸濁液中のチタン粒子がエネルギーを吸収・放出するためにレーザー光が散乱する。その現象を利用して歯の表面に特別な処理を行わなくても Nd-YAG レーザーでエナメル質や象牙質を削除することが可能となる。

酸化チタンは、アレルギー反応を起こしにくく、生体に為害作用がないことが知られている<sup>20)</sup>。さらに、酸化チタン懸濁液は、光照射により生じる光触媒反応で、様々な有機物を分解することから歯科応用によって、口腔内細菌に対する殺菌効果を有することも報告されている<sup>19, 20)</sup>。また酸化チタン懸濁液の併用により効率よくレーザー光を反射し、削除・切開効果を高めることができることも報告している<sup>31)</sup>。このことは、Nd-YAG レーザーを用いることで齶蝕歯質を除去するだけでなく、齶蝕部位に存在する齶蝕原因菌を死滅、減少させることが考えられる。

また、酸化チタンは水に不溶であり、容易に沈殿してしまう性格を持ち合わせているため操作性に劣ることも報告されている<sup>17)</sup>。

本研究では、酸化チタンの操作性の劣点を解決するために、酸化チタン濃度の異なる酸化チタンペーストを用いて健全歯質及び脱灰象牙質の切削量について検討した。歯質と Nd-YAG レーザーのファイバーとの間にグリセリンを介在させた場合、健全歯質と脱灰歯質の切削量とに有意な差は認められなかった。渋谷らは<sup>31)</sup>、精製水内では、レーザー光は直線的に照射されることを報告している。つまり、レーザー光を歯質表面に反応させる処置を行っていないために、Nd-YAG レーザー光が歯質を透過してしまい、エネルギーの到達がないと考えられる。

一方、各種濃度の酸化チタンペーストを介在させた場合、脱灰象牙質における削除量が健全歯質より有意に多かった。酸化チタン懸濁液中において、Nd-YAG レーザー光は、ファイバー周辺で 360 度に光の散乱が起こることが報告されており<sup>31)</sup>、酸化チタンペーストにおいても Nd-YAG レーザー光の散乱が起こり、酸化チタン

のセラミック粒子がエネルギーを吸収・放出する反応により歯質の削除が起こったと考えられた。歯質の削除量は酸化チタンの濃度の上昇に比例して健全歯質、軟化象牙質ともに削除量は多くなった。

本研究結果から、健全歯質の削除量を可及的に抑えることを考慮すると、10~20% の濃度で使用することが適当であると考えられた。また、酸化チタン懸濁液と比較すると、酸化チタンペーストは反応させたい部位に容易に停滞させることができ、操作性に優れていると考えられた。酸化チタンペーストを用いることにより、Nd-YAG レーザーによる齶蝕歯質の除去が Nd-YAG レーザー単独より明らかに効率よくできることが示唆された。

## 結 論

本研究では、効率よく齶蝕歯質を除去できる方法を模索するために、酸化チタン粉とグリセリンを混和して酸化チタンペーストを作製し、Nd-YAG レーザーを使用した歯質削除について検討を行った。その結果、酸化チタン濃度依存的に健全歯質、軟化象牙質ともに削除量は増加した。健全歯質の削除は可及的に抑えることが求められる。酸化チタン濃度が 10%~20% の濃度を用いることによって臨床応用できると示唆された。

また操作性においても、酸化チタン懸濁液と比較し、反応部位に容易に停滞でき、操作性に優れていると示唆された。

## 文 献

- 1) 中村幸生：CO<sub>2</sub> レーザー照射による歯肉メラニン色素沈着除去，別冊 Quintessence，最新歯科用レーザー，クインテッセンス出版，東京：33-41，1997。
- 2) 於保孝彦，森岡俊夫：歯肉メラニン除去へのレーザーの応用，別冊 Quintessence，レーザーの歯科への臨床応用とその基礎，クインテッセンス出版，東京：104-108，1988。
- 3) 野口俊英，多湖 準，杉 大介，福田光男，富塚重幸：歯周治療へのレーザー応用，歯科医療，15：47-60，2001。
- 4) 野呂大介，丹下貴司，五十嵐清治：乳歯の臨床 小児の外科処置—軟組織疾患—，東日本デンタルトピックス，32：22-25，2002。
- 5) 松根健介，前田隆秀：CO<sub>2</sub> レーザーの有用性について，小児歯科臨床，9：33-39，2004。
- 6) 浜田晶子，石丸知絵，大森佳奈，宮本茂広，大野秀夫，田中克明：レーザーの子供歯科への応用—，小児歯誌，43：164-165，2005。
- 7) Ito, K., Nishikata, J., Murai, S.: Effects of Nd: YAG laser radiation on removal a root surface smear layer after root planning: a scanning electron microscopic study. J periodontal, 64: 547-552, 1993.
- 8) 根本君也，西山典宏，渋谷 功：口腔内におけるレーザ

- ー溶接, 東京歯会誌, 52: 749-755, 2004.
- 9) 梶原俊一, 辻村 亨: レーザー溶接機“デンタルレーザー DL 2000”の技工操作上の有効性と合理化効果, 歯科技工, 24: 1423-1432, 1996.
  - 10) 南里嶽仁: 歯科用レーザー溶接機-歯科用レーザー溶接機は鑲付に取って代わることができるか-, Dental Diamond, 8: 84-90, 2000.
  - 11) 松根健介, 丸山明華, 荒井清司, 岡本春憲, 三好克実, 清水久美子他: Nd-YAG レーザーを用いたレーザー溶接の小児歯科領域の有効性の検討 (1)-レーザー照射出力, 照射角度と照射回数における変化-, 小児歯誌, 43: 512-517, 2005.
  - 12) 丸山明華, 松根健介, 荒井清司, 岡本春憲, 渋谷 功, 根本君也, 前田隆秀: Nd-YAG レーザーを用いたレーザー溶接の小児歯科領域の有効性の検討 (2)-弾性係数とビッカース硬さの検討, 小児歯誌, 44: 80-84, 2006.
  - 13) 加藤純二: Er: YAG レーザーの小児歯科領域での応用, 小児歯科臨床, 9: 17-22, 2004.
  - 14) 岩井啓寿, 池見宅司: 自由電子レーザーと Er: YAG レーザーの歯質に与える影響, 日レ歯誌, 18: 56, 2007.
  - 15) 鴨井久一, 歯科用 Nd: YAG レーザーの臨床応用, クインテッセンス出版: 2003.
  - 16) 藤井考人: Nd: YAG レーザーによる軟化象牙質の除去に関する研究-特に墨汁および水性インクの光透過性と蒸散との関係-, 日レ歯誌, 43: 52-60, 1999.
  - 17) 松根健介, 三好克実, 荒井清司, 渋谷 功, 土屋有里子, 井上雄温他: Nd: YAG レーザーによる健全歯質と齲蝕部の選択的削除についての研究, 小児歯誌, 44: 416-421, 2006.
  - 18) 新井 宏, 中村 聡, 山下仁大: 可視光作動型二酸化チタン光触媒を用いた漂白に関するモデル研究, 歯科材料・器械, 22: 293-300, 2003.
  - 19) 川島信也, 永目誠吾: S. mutans に対する TiO<sub>2</sub> 添加シーラントの抗菌性, 歯科医学, 57: 129-140, 1994.
  - 20) 永目誠吾, 奥 忠之, 楠 憲治, 野村一夫, 尾辻 淳, 高橋仁史, 福地健秀, 小林 正, 小西浩二: 半導体 TiO<sub>2</sub>, 微粒子の光反応による歯垢形成細菌に及ぼす影響 歯科医学, 50: 119-125, 1987.
  - 21) 森岡俊夫: 歯科領域におけるレーザーの臨床応用 齲蝕予防への応用, 歯科ジャーナル, 39: 251-257, 1994.
  - 22) Yamamoto, H., Asto K: Prevention of dental caries by Nd: YAG laser irradiation. J Dent Res, 59: 2171-2177, 1980.
  - 23) Bassi, G., Chawla, S., Patel, M.: The Nd: YAG laser in caries removal. Br. Dent. J. 177: 248-250, 1994.
  - 24) 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.
  - 25) 高森一乗: 診断領域のレーザー DIAGNOdent®を中心として, 小児歯科臨床, 9: 27-32, 2004.
  - 26) 神谷 誠: 当院のレーザー診療, 小児歯科臨床, 9: 40-46, 2004.
  - 27) 浜田晶子, 小田裕子, 杉岡千津, 田中克明, 大野秀夫: 成育歯科医療をすすめるためのレーザーの活用, 小児歯科臨床, 9: 47-58, 2004.
  - 28) 白須賀哲也, 若林 始, 松本光吉: Nd: YAG レーザー照射による齲蝕予防に関する研究, 日本レーザー医学会誌, 7: 199-200, 1987.
  - 29) 稲本雄之: Nd: YAG レーザーの感染根管照射が根管最近及び根尖病巣に及ぼす影響, 日歯保存誌, 41: 253-266, 1998.
  - 30) 根本君也, 西山典宏, 渋谷 功: 口腔内におけるレーザー溶接, 東京都歯科医師会雑誌, 52: 749-755, 2004.
  - 31) 渋谷 功, 西山典宏, 早川 徹, 根本君也, 池見宅司: Nd-YAG レーザーによる歯質の削除-二酸化チタン分散溶液の効果-, 日歯保存誌, 46: 140, 2003 (抄).

## Study on Removal of Sound Dentine and Decalcified Dentine Using The Nd-YAG Laser

—by Interposition with Titanium Oxide Paste—

Sayaka Maruyama, Kensuke Matsune, Kiyoshi Arai, Isao Shibuya\*  
Takahiro Yamauchi, Norihiro Nishiyama\* and Takahide Maeda

*Department of Pediatric Dentistry, Nihon University School of Dentistry at Matsudo,  
870-1 Sakaecho, Nishi 2, Matsudo, Chiba 271-8587, Japan*

*\*Department of Dental Biomaterials, Nihon University School of Dentistry at Matsudo,  
870-1 Sakaecho, Nishi 2, Matsudo, Chiba 271-8587, Japan*

The authors previously reported that a lining of titanium oxide liquid between a dentine surface and the tip of a laser apparatus was effective for removing decalcified dentine using Nd-YAG laser irradiation.

Clinical tests of the Nd-YAG laser with titanium oxide was considered, but, it is quite difficult to retain the liquid on the surfaces of decade enamel and soft dentine during laser irradiation.

The purpose of this study was to evaluate the effectiveness of removing sound dentine and decalcified dentine using Nd-YAG laser irradiation with interposition of titanium oxide paste, because the property of the paste is allows it to remain on the surface of teeth easily during the laser irradiation.

The mounts of removed dentine by interposition in all kinds of the pastes containing 10%, 20%, 30%, 40%, 50% titanium oxide were significantly higher than that using paste without titanium oxide as control, and the amount was increased by the dose of titanium oxide.

In clinic, a selective removal of soft dentine is recommended using a laser irradiation, that is to say less removal of a sound dentine is required.

Based on the results, it was found that 10% to 20% concentration of titanium oxide paste is available for use in the clinic. The reason that the concentration paste displayed relatively high removal of a decalcified dentine and less removal of a sound dentine.

**Key words :** Nd-YAG laser, Titanium oxide liquid, Removal of dentine